

Anderer Leistungsnachweis der Jahrgangsstufe 11

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler Kommunikationsgeräte



Max – Steenbeck – Gymnasium

Jahrgang 11 / Physik LK1

2013/14

Vorwort

In der heutigen Zeit werden Smartphones mit vielen Problemen in der Schule in Verbindung gebracht. Sie gelten als störend sowie ablenkend und wirken sich somit direkt auf die schulischen Leistungen vieler Schüler und Schülerinnen aus. Unser Ziel ist es, dieses von der Jugend geliebte mobile Gerät sinnvoll in den Unterricht einzugliedern, um die Aufmerksamkeit und das Interesse der Lernenden zu gewinnen.

Ein bekannter Kritikpunkt am Physikunterricht ist häufig der fehlende Praxisbezug, welcher sich einerseits durch eingeschränkte Experimentierkapazitäten sowie andererseits durch ein begrenztes Zeitvolumen begründen lässt. Infolgedessen ist die Zielsetzung dieser Arbeit, das Experimentieren durch die Verwendung von Smartphones zugänglicher, flexibler und interessanter zu gestalten.

Im Rahmen des Anderen Leistungsnachweises werden die theoretischen Grundlagen verschiedener im Smartphone eingesetzter Sensoren ausführlich erarbeitet, um das Verständnis für die verwendeten Technologien zu erlangen und die technischen Grenzen der Hardware besser einschätzen zu können.

Ausgehend von unserem theoretischen Wissen werden wir im Verlaufe unseres Projektes eine Android-App als geeignete Softwareschnittstelle zwischen Schüler und dem Handy als Messsystem entwickeln. Ebenfalls sollen physikalische Zusammenhänge und Phänomene, welche über den Lehrplan hinausgehen mit Hilfe des Smartphones als Messinterface untersucht werden. Dabei handelt es sich um das Verhalten von Dämpfungskonstanten, die Drehbewegungen von Rotoren und die magnetische Hysterese.

Abschließend soll beurteilt werden, inwiefern das Smartphone im Physikunterricht eingebunden werden kann.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
1. Sensorik	5
1.1 Kapazitiver Beschleunigungssensor	6
1.2 Magnetfeldsensor	7
1.2.1 Hallsonde	7
1.2.2 Fluxgate – Sensor	9
1.3 Helligkeitssensor.....	10
2. Experiment 1	12
2.1 Zielstellung.....	13
2.2 Vorbetrachtung	13
2.3 Geräte/ Versuchsaufbau	15
2.4 Durchführung und Messwertaufnahme	16
2.5 Ergebnisse & Auswertung.....	16
2.5.1 Bestimmung der Federkonstante.....	16
2.5.2 Bestimmung der Dämpfungskonstante	18
2.6 Fehlerbetrachtung.....	23
3. Experiment 2	24
3.1 Zielstellung.....	25
3.2 Vorbetrachtung	25
3.3 Geräte und Versuchsaufbau	27
3.4 Durchführung und Messwertaufnahme	28
3.5 Ergebnisse & Auswertung.....	29
3.5.1 Bestimmung der maximalen Drehzahl	29
3.5.2 Analyse des Anlaufverhaltens.....	33
3.6 Fehlerbetrachtung.....	38
3.7 Mögliche Anwendung im Physikunterricht.....	38
4. Experiment 3	39
4.1 Zielstellung.....	40
4.2 Vorbetrachtung	40
4.2.1 Materie im Magnetfeld	40
4.2.2 Magnetisierung.....	40
4.2.3 Hystereseschleife	41
4.2.4 Weich- & Hartmagnetische Stoffe.....	41
4.2.5 Mathematisch-Physikalische Beschreibung der Hysterese	42
4.3 Geräte und Versuchsaufbau	44

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler Kommunikationsgeräte

4.4 Durchführung & Messwertaufnahme	45
4.5 Ergebnisse & Auswertung	46
4.6 Fehlerbetrachtung	50
4.7 Anwendung des Smartphones im Physikunterricht	50
5. Physik Box	51
5.1 Zielstellung	52
5.2 Funktionen der App	52
5.3 Umsetzung	53
5.4 Was hebt die App von der Konkurrenz ab?	53
5.5 Screenshots	54
6. Nachwort	55
7. Quellenverzeichnis	56
7.1 Internetquellen	56
7.2 Literaturquellen	57
7.3 Bildquellen	57
8. Selbstständigkeitserklärungen	58

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler
Kommunikationsgeräte

1. Sensorik

Theoretische Grundlagen der physikalischen Sensoren des Smartphones

1.1 Kapazitiver Beschleunigungssensor ¹

Die physikalische Grundlage eines kapazitiven Beschleunigungssensors liefert die Abhängigkeit der Kapazität vom Abstand der Kondensatorplatten. Eine Auslenkung der beweglichen seismischen Masse, die als Kondensatorelektrode fungiert, bewirkt eine Änderung der Kapazität der Messanordnung. Saiten verbinden dies an den Ankerpunkten des Gehäuses und gewährleisten zudem die Zentrierung der Elektrode. Eine zweite Elektrode, parallel zu der beweglichen Elektrode, ist fest mit dem Gehäuse verbunden. Wirkt nun eine Beschleunigung auf den Sensor, bewegt sich die seismische Masse aufgrund der Trägheit langsamer als das Gehäuse, wobei gilt, dass die Kapazität proportional zur Wegänderung und somit auch zur erfahrenen Beschleunigung ist. Aus der Kapazität des Plattenkondensators und des sich ändernden Abstandes ergibt sich:

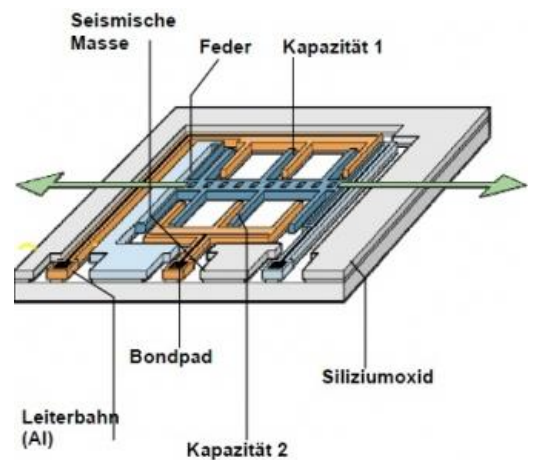


Abbildung 1:
Aufbau kapazitiver Beschleunigungssensor

$$C_0 = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * \frac{A}{d}$$

$$C = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * \frac{A}{\Delta d}$$

Mit $C = \frac{Q}{U}$ und dem Einsetzen der Formel für die Kapazität ergibt sich durch weitere Termumformung: $d * Q = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * A * U$ und somit gilt:

$$d \sim U$$

Der Differentialkondensator liefert also eine Spannung, die proportional zum Plattenabstand ist. Somit gilt auch, dass die beschleunigende Kraft proportional der Spannung U ist:

$$m * a = \frac{1}{2} * \frac{C * U^2}{d}$$

$$\frac{U}{d} = x \rightarrow U = d * x \rightarrow F_B = \frac{1}{2} * C * d * x^2$$

$$F_B \sim d \text{ und } F_B \sim U$$

¹ Es wurden folgende Quellen genutzt - Internet: 2, 9, 16, 20

Diese Beziehungen sind notwendig, um auf die erfahrene Beschleunigung schließen zu können, die über definierte Spannungswerte ermittelt werden. Die Beschleunigung wird dabei über drei Achsen gemessen, sodass bei konkreter Ausrichtung eine Achse immer senkrecht zur Beschleunigung steht und somit keine Überlagerung stattfindet.

Es gibt weitere Arten von Beschleunigungssensoren, die unter anderem auch in der Medizin eingesetzt werden können. Der wichtigste ist jedoch der beschriebene kapazitive Beschleunigungssensor. Vorteile sind die Überlegenheit in Stabilität, Leistungsverbrauch, Empfindlichkeit und das Temperaturverhalten. Allerdings lassen sich diese Sensoren leicht von umliegenden elektromagnetischen Feldern beeinflussen.

Beschleunigungssensoren haben ein breites Anwendungsgebiet, was vor allem an der Größe und der Zuverlässigkeit liegt. In der Automobilbranche finden diese Sensoren bei einem aktiven Federungssystem in Fahrzeugen statt. Des Weiteren werden Vibrationen an Gebäuden oder Maschinen damit kontrolliert und Alarmanlagen gesichert. Dieser Sensor im Handy dient dazu, das Bildformat von Hoch- auf Querformat oder andersherum umzustellen. Außerdem greifen zahllose Spiele darauf zu, um Gegenstände zu kontrollieren.

1.2 Magnetfeldsensor ²

1.2.1 Hallsonde

Funktion

Der Magnetfeldsensor misst die magnetische Flussdichte über drei Achsen, sodass bei konkreter Ausrichtung ein Sensor senkrecht zum Magnetfeld steht. Magnetfeldsensoren sind Leiterplatten mit

Anschlüssen zur Stromversorgung und zur Spannungsmessung.

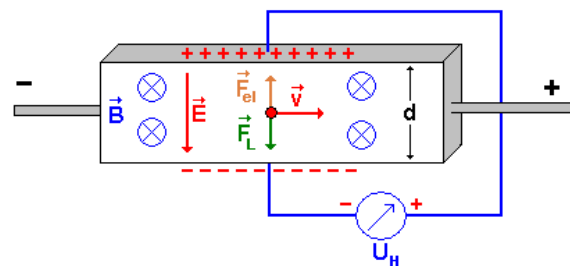


Abbildung 2: Funktionsweise Hall - Effekt

Liegt eine Spannung an diesem Leiter an, so bewegen sich die Elektronen entgegengesetzt der technischen Stromrichtung senkrecht zum Magnetfeld. Dabei wirkt die Lorentzkraft auf diese Elektronen. Die Elektronen werden zu einer Seite hin verschoben. Es entsteht auf der einen Seite ein Ladungsüberschuss und auf der gegenüberliegenden im selben Maße ein Elektronenmangel, wodurch ein elektrisches Feld entsteht und die dadurch resultierende Kraft der Lorentzkraft entgegengerichtet ist. Wie auch beim Kondensator kann man hier die entstehende Spannung über die jeweiligen Anschlüsse abgreifen.

² Es wurden folgende Quellen genutzt - Internet: 3, 4, 5, 11, 17, 18 Literatur: 2

Die durch die Ladungstrennung erzeugte Spannung nennt sich Hall-Spannung. Diese Spannung ist proportional zur magnetischen Flussdichte B und zum Strom I , weshalb durch festgelegte Spannungswerte zugehörige Flussdichten gemessen werden können.

Herleitung der Hallspannung

Die seitliche Verschiebung der mit der Driftgeschwindigkeit v bewegten Ladungsträger durch die Lorentzkraft ruft in dem Leiterstück ein senkrecht zum Strom gerichtetes homogenes elektrisches Feld E hervor. Im Kräftegleichgewicht ist die Lorentzkraft gleich der Coulombkraft:

$$\text{Aus } F_L = e * v * B \text{ und } F_C = e * E \text{ folgt: } E = v * B$$

Coulombkraft erzeugt die Hallspannung. Diese kann mit Hilfe der Breite b des Leiters berechnet werden:

$$U_H = b * E = b * v * B$$

Aus dem Zusammenhang zwischen der Driftgeschwindigkeit von N Elektronen im Leiter der Länge l und der Stromstärke I ergibt sich: $v = \frac{I * l}{N * e}$

$$U_H = b * \frac{I * l}{N * e} B$$

Mit der Ladungsträgerdichte $N_V = \frac{N}{V}$ und dem Volumen $V = lbd$ folgt:

$$U_H = \frac{b * I * l}{N_V * V * e} B = \frac{I}{N_V * d * e} B = \frac{1}{N_V * e} * \frac{I * B}{d}$$

Wobei mit der Hall-Konstante $R_H = \frac{1}{N_V * e}$ die allgemeine Formel hergeleitet ist:

$$U_H = R_H * \frac{I * B}{d}$$

Somit gilt:

$$U_H \sim I \text{ und } U_H \sim B$$

Der hier beschriebene Magnetfeldsensor beruht auf dem Hall-Effekt, der Bestandteil des Lehrplans ist und sich somit Experimente mit dem Handy im Bezug zu Magnetfeldern einfach in den Unterricht mit einbauen lassen. Jedoch dienen einfache Sensoren, die sich gerade diesem physikalischen Phänomen bedienen, nur zur Messung von stärkeren Magnetfeldern. Aus diesem Grund werden Hallsensoren in Verbindung mit Halbleiterelementen verwendet, da die Ladungsträgerdichte klein ist und die Elektronengeschwindigkeit groß.

Häufig verwendete Halbleiter sind Silicium und Galliumarsenid ($n \approx 10^{15}$). Somit lässt sich eine größere Spannung bzw. eine gerade messbare Spannung erzeugen. Der mögliche Messbereich wird dabei vergrößert und kommt dabei in das nötige Messspektrum, welches zu messen ist.

Der Messbereich eines Fluxgate-Magnetometers, auch Saturationskern-Magnetometer oder Förster-Sonde, liegt auch im Bereich des Messspektrums eines Magnetfeldsensors im Handy. Es lässt sich nur vermuten um welchen Sensor es sich in einem Handy tatsächlich handeln könnte, da keine Angaben von Herstellern in verschiedensten Quellen über die genaue Art des Sensors zu finden sind.

1.2.2 Fluxgate – Sensor

Der russische Wissenschaftler Victor Vacquier erfand diesen Sensor 1940, um ihn zur Ortung von U-Booten einzusetzen. Dieser Sensor zeichnet sich dadurch aus, besonders kleine Magnetfeldänderungen zu messen. Der Messbereich liegt bei 10^{-4} bis 0,5 mT.

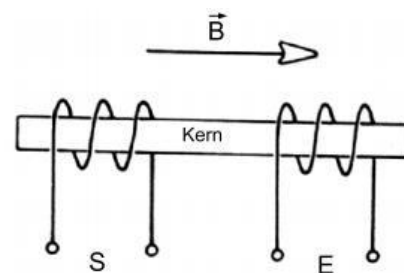


Abbildung 3: Aufbau Fluxgate - Sensor

Um einen ferromagnetischen Ring ist eine Erregerspule, auch Sendespule genannt, gewickelt.

Durch diese fließt ein sinusförmiger Wechselstrom. Dadurch baut sich ein Magnetfeld auf, welches durch die Verschiebung der Ladungen im Inneren des Rings erzeugt wird. Eine weitere Spule, die Empfängerspule, die ebenfalls um den Ring gewickelt ist, wird durch das Magnetfeld des Eisenkerns beeinflusst, sodass eine Spannung in der Empfängerspule induziert wird. Die Signalverläufe der beiden Spulen stimmen dabei überein. Wird das Magnetfeld des Eisenkerns nun von einem weiteren Magnetfeld tangiert, verändert sich die Signalform an der Sekundärspule. Richtung und Stärke des Magnetfeldes sind somit bestimmbar. Die Stärke des entstandenen Magnetfeldes kann hierbei mit Hilfe von Vektoraddition beschrieben werden.

$$\vec{B} = \mu_0 * \mu_r * \vec{H}$$

Mit $H_1=(h_1,0,0)$ und $H_2=(0,h_2,0)$ ergibt sich für \vec{H} : $\vec{H}=\vec{H_1}+\vec{H_2}=(h_1,h_2,0)$

Und somit ergibt sich für \vec{B} :

$$\vec{B} = \mu_0 * \mu_r * (h_1, h_2, 0)$$

Durch das Wissen von der Größe der magnetischen Feldstärke, und der Richtung des magnetischen Feldes lassen sich nun Aussagen zur Richtung und Größe des zweiten Magnetfeldes treffen.

Der Fluxgate-Sensor wird ebenso wie auch die Hall-Sonde, dazu verwendet einen elektronischen Kompass zu realisieren. Des Weiteren trägt er bei der Richtungsmessung des Erdmagnetfeldes mit Raumsonden bei (Mission CHAMP).

CHAMP war ein deutscher Kleinstsatellit der zur Vermessung des Erdmagnetfeldes beitrug.

1.3 Helligkeitssensor³

Bei einem Helligkeitssensor werden Photodioden verwendet, um aus Lichtstrahlen einen Stromfluss zu erzeugen. Die Funktionsweise von Photodioden beruht auf dem inneren photoelektrischen Effekt. 1887/88 wurde die Grundlage von Heinrich Hertz und Wilhelm Hallwachs geschaffen, die nämlich erstmals feststellten, dass durch Bestrahlung von metallischen Leitern mit

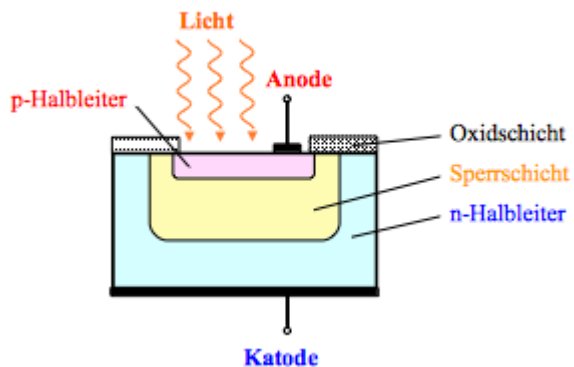


Abbildung 4: Aufbau der Photodiode

Licht oder anderer elektromagnetischen Strahlung, Elektronen durch Photonen freigegeben werden. Dieser Effekt wird als äußerer photoelektrischer Effekt bezeichnet.

Jedoch ist der sogenannte „innere Photoeffekt“ die Grundlage für Photovoltaikanlagen, die aus Sonnenlicht Strom erzeugen und somit auch die für uns wichtige Grundlage den Helligkeitssensor zu begründen.

Eine Photodiode besitzt drei unterschiedliche Bereiche. Die lichtzugewandte Seite ist die p-dotierte Schicht. Diese wird sehr dünn gehalten, da das Licht bis auf die darunter befindliche n-Schicht durchdringen muss. Diese beiden Schichten unterscheiden sich daher, dass durch eingebrachte Fremdatome diese Bereiche positiv beziehungsweise negativ geladen sind. Als Grundmaterial bei Photodioden dient Silizium, welches sich aufgrund des Wellenlängenbereichs bis circa 1 μm eignet und somit das Spektrum des sichtbaren Lichts umfasst. In die p-dotierte Schicht, bestehend aus Silizium, werden einzelne Aluminiumatome hinzugefügt. Aluminium hat im Vergleich zu Silizium ein Außenelektron weniger, sodass ein Elektronenplatz in dem Gitter frei bleibt.

³ Es wurden folgende Quellen genutzt – Internet: 6, 8, 15, 19

In die n-dotierte Schicht werden Phosphoratome ergänzt. Sie besitzen ein Außenelektron mehr als Silizium. Dieses zusätzliche Elektron kann abgegeben werden. Beim Zusammentreffen dieser beiden Schichten findet entlang des Konzentrationsgefälles eine Diffusion von Elektronen statt.

Hierbei besetzen frei bewegliche Elektronen der n-Schicht die Defektelektronen, auch Löcher genannt, der p-Schicht. Es entsteht eine nicht leitende Grenzschicht oder Sperrschicht genannt, die sich zwischen den beiden n-p-Schichten befindet. Diese ist maximal 1 μm klein. Auf der p-Schicht befindet sich die Anode und umgekehrt auf der n-Schicht die Katode.

Zusätzlich wird ein Infrarotfilter eingebaut, damit der Sensor dem menschlichen Auge ähnelt, sodass nur für den Menschen sichtbares Licht auf die Sperrschicht trifft.

Treffen nun Photonen auf diese Sperrschicht, so werden Elektronen emittiert und es kommt zu einem Stromfluss. In der Industrie kommen Fototransistoren zur Anwendung, da aufgrund der zu geringen erzeugten Spannung eine Fotodiode in manchen Anwendungsbereichen zu unempfindlich ist. Somit kommt eine Fotodiode in Verbindung mit einem Transistor zum Einsatz. An der Basis liegt hierbei die erzeugte Spannung an, wodurch gemessene Spannungswerte bereits mit eingespeicherten vergleichbaren Werten verglichen werden und so Helligkeitswerte zugeordnet werden können.

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler
Kommunikationsgeräte

2. Experiment 1

Die gedämpfte Schwingung - Dämpfungskoeffizienten

2.1 Zielstellung

In unserem ersten Experiment soll der Verlauf einer gedämpften Schwingung analysiert werden. Dabei soll der Beschleunigungssensor eines Smartphones mit dem eines hochwertigen Messgerätes (LabQuest 2) verglichen werden.

Die Untersuchungsziele sind in erster Linie die Bestimmung der Dämpfungskonstante zweier unterschiedlich gedämpfter Oszillatoren sowie die Bestimmung der Federkonstanten der verwendeten Federn.

2.2 Vorbetrachtung

Schwingt ein Körper im luftgefüllten Raum, so nehmen die Amplituden mit der Zeit ab. Die Ursache dafür ist die viskose Reibungskraft, also die Luftreibung. Demzufolge wird stets Energie des Feder-Masse-Systems in Reibungsarbeit umgesetzt.

Wichtig ist, dass die Dämpfungskraft, welche der Bewegungsrichtung entgegenwirkt, proportional zur Geschwindigkeit ist.

Unter Betrachtung der wirkenden Kräfte ergibt sich:

$$m * a(t) = -D * x(t) - d * v(t)$$

d ... Dämpfungsmaß

D ... Federkonstante

Da die Beschleunigung die zweite und die Geschwindigkeit die erste zeitliche Ableitung des Weges ist, kann folgende Termumformung vorgenommen werden:

$$0 = m * \ddot{x}(t) + d * \dot{x}(t) + D * x$$

Das ist die Differentialgleichung der freien, gedämpften, harmonischen Schwingung.

Die Lösung der Differentialgleichung liefert folgenden Zusammenhang:

$$x(t) = \hat{x} * e^{-k*t} * \cos(\omega * t)$$

k ... Dämpfungskonstante

mit weiteren Umformungen erhält man schließlich:

$$k = \frac{d}{2 * m}$$

Mit dem Dämpfungsmaß und der Dämpfungskonstante kann man schließlich in verschiedenen Dämpfungsgrade differenzieren.

Bei der gedämpften Schwingung bleibt die Periodendauer T konstant, sodass auch die Kreisfrequenz ω unverändert bleibt.

Man unterscheidet dabei in folgende Schwingungsarten:

Schwingfall	$d < 1$
Kriechfall	$d > 1$
aperiodischer Grenzfall	$d = 1$

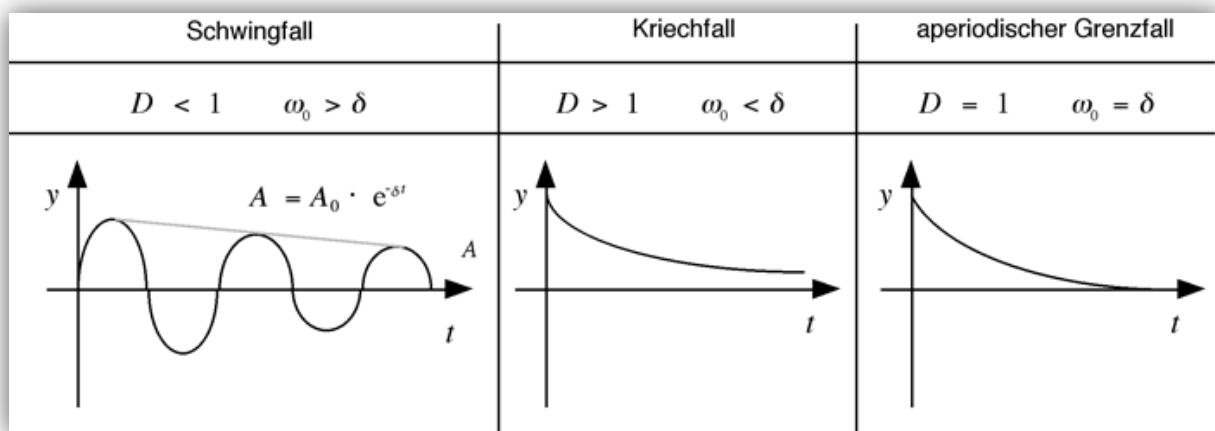


Abbildung 5: Arten der gedämpften Schwingung

2.3 Geräte/ Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht hauptsächlich aus einem Stativ an dem eine Feder befestigt ist. Beim Aufbau muss strengstens darauf geachtet werden, dass die Bauteile möglichst fest sitzen und die Feder einen möglichst ruhigen Lauf hat. Da in unserem Experiment recht hohe Massen zum Schwingen angeregt werden, ist ein solider Aufbau elementar wichtig für eine valide und reliable Messwertaufnahme.

verwendete Geräte:

- Stativ und Befestigungsstangen
- Federn und Federhalterung
- Massestücke
- Magnet (Befestigung), Pappe 19cm*20cm (Dämpfung)
- Plastikbeutel für das Messgerät

verwendete Messgeräte:

LabQuest 2

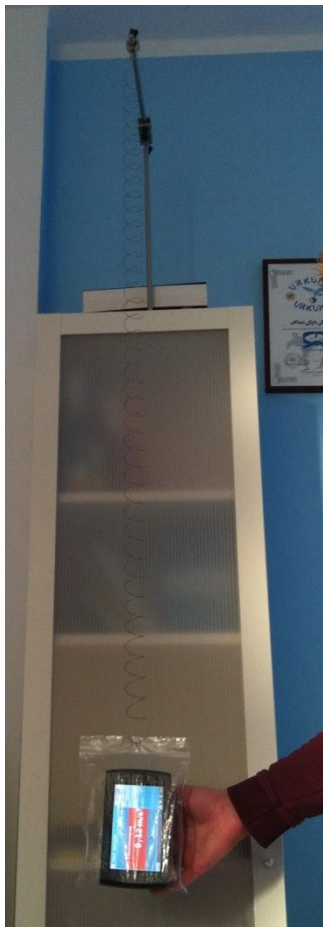


Abbildung 6
Messaufbau 1

Vodafone Smart 3



Abbildung 7
Messaufbau 2

2.4 Durchführung und Messwertaufnahme

Beim Experimentieren wurde das Messgerät in den Plastikbeutel gelegt und stets darauf geachtet, dass die schwingende Masse konstant bleibt, da eine Veränderung der Masse die Schwingungsdauer nachhaltig beeinflusst, sodass die Messungen von Handy und LabQuest nicht mehr vergleichbar wären. Demzufolge musste das geringere Gewicht des Handys mit einem Zusatzgewicht ausgeglichen werden. Dabei werden die aerodynamischen Veränderungen, welche dadurch entstehen, vernachlässigt und nicht weiter beachtet.

Es werden pro Oszillator drei Messungen mit drei verschiedenen Auslenkungen (15cm, 30cm und 45cm) vorgenommen, um die Beschleunigungssensoren in unterschiedlichen Messbereichen miteinander vergleichen zu können. Das Messgerät wurde dann entsprechend ausgelenkt und kalibriert.

Es wurden zwei Federn jeweils einmal mit und einmal ohne Pappe analysiert, sodass es insgesamt zwei verschiedene Oszillatoren mit je zwei unterschiedlichen Dämpfungsgraden gibt.

Die Messzeit betrug immer 25s, da nach dieser Zeit die Elongation des schwingenden Systems zu klein wurde, um noch vom Messsystem erfasst zu werden.

Das Smartphone und der LabQuest hatten eine Messrate von 50 Messungen/Sekunde.

2.5 Ergebnisse & Auswertung

2.5.1 Bestimmung der Federkonstante

Die Federkonstanten einer weichen und einer härteren Feder wurden mit Hilfe zweier unterschiedlicher Messmethoden bestimmt. Zuerst erfolgte eine statische Messung, d.h. an die Feder wurden unterschiedliche Massestücken angehängen und die resultierende Elongation gemessen. Es stellt sich nun ein Kräftegleichgewicht ein, denn die nach unten wirkenden Gewichtskraft wird durch die entgegengesetzt wirkende Federspannkraft kompensiert:

$$F_G = F_S$$

$$m * g = D * s$$

Umstellen nach der Federkonstante D ergibt:

$$D = \frac{m * g}{s}$$

Die Auslenkung wurde für mehrere Massen bestimmt und schließlich ein Mittelwert für die Federkonstante gebildet, der in Tabelle 1 aufgeführt wird.

Des Weiteren verwendeten wir eine dynamische Messung, d.h. wir ließen den Beschleunigungssensor die Schwingung über einen definierten Zeitraum aufzeichnen, um daraus eine mittlere Periodendauer T zu bestimmen, mit der anschließend die Federkonstante berechnet werden kann:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{D}}$$

Umformung nach D ergibt:

$$D = \frac{4\pi^2 * m}{T^2}$$

Für die Periodendauer T gilt:

$$T = \frac{\Delta t}{n}$$

n ...Anzahl der Schwingungen

Δt ... die für n Schwingungen benötigte Zeit

Damit ergibt sich:

$$D = \frac{4\pi^2 * m}{\left(\frac{\Delta t}{n}\right)^2}$$

In der folgenden Tabelle werden nun alle ermittelten Federkonstanten zusammengefasst dargestellt:

Federkonstante [kg/s ²]	Statische Messung	Dynamische Messung (Vodafone Smart 3)	Dynamische Messung (LabQuest 2)
Feder 1 (weich)	3,0122	2,6999	3,2454
Feder 2 (hart)	4,2647	3,9827	4,3659

Aus der Tabelle lässt sich schließen, dass Feder 1 eine „weiche Feder“ ist und Feder 2 eine „harte“.

Die Werte für die Federkonstanten schwanken von Methode zu Methode, sind in der Dimension jedoch ähnlich und korrekt. Auffällig ist, dass mit dem Smartphone generell geringere und mit dem LabQuest eher höhere Werte gemessen wurden.

Da man keine Sollgröße hat, kann man nun auch keine Aussage darüber treffen, ob der Beschleunigungssensor des Handys genau ist oder nicht.

Geht man jedoch davon aus, dass das LabQuest ein zuverlässiges Messsystem ist, so zeichnet sich hier schon eine tendenzielle Überlegenheit ab, jedoch kann man aufgrund der zuvor genannten Umstände (kein Zielwert) keine Schlussfolgerungen daraus ableiten.

Im weiteren Verlauf werden die Federkonstanten noch eine entscheidende Rolle spielen, sodass über eine arithmetische Mittelwertsbildung die Beträge errechnet werden:

Feder 1 = weiche Feder: $D = 2,9858$

Feder 2 = harte Feder: $D = 4,2044$

2.5.2 Bestimmung der Dämpfungskonstante

Die Federkonstante ist ein Maß für den Dämpfungsgrad einer Schwingung und ist somit eine wichtige Größe, wenn es darum geht, Schwingungen zu analysieren bzw. in der Technik anzuwenden (z.B. Stoßdämpfer).

Für die Ermittlung dieser Größe nutzten wir die dynamische Messwerterfassung, d.h. das Smartphone sowie das LabQuest zeichneten den Schwingungsverlauf direkt auf. Nun gibt es mehrere Möglichkeiten, die Dämpfungskonstante zu ermitteln. Wir entschieden uns dafür eine graphische und eine numerische Variante anzuwenden. Vorher mussten jedoch die gemessenen Beschleunigungswerte genutzt werden, um damit die Amplituden der gedämpften Schwingung zu ermitteln.

Es gilt:

$$s = \frac{m * a}{D}$$

Eine Methode ist, den natürlichen Logarithmus der positiven (oder negativen) Amplituden aus der Schwingung über der Zeit in einem Graphen darzustellen.

Die Gleichung der Elongation bei einer gedämpften Schwingung wird demzufolge logarithmiert:

$$\ln(\hat{y}) = \ln(\hat{y}_0 * e^{-k*t})$$

$$\ln(\hat{y}) = \ln(\hat{y}_0) - k * t$$

\hat{y}_0 ... Ursprungsamplitude

Y ... aktuelle Amplitude

k ... Dämpfungskonstante

Demzufolge kann mittels computergestützter Datenverarbeitungssoftware (z.B. Excel) eine lineare Regression für den Graph der logarithmierten positiven Amplituden ermittelt und daraus die Dämpfungskonstante, welche den Anstieg der Funktion bildet, bestimmt werden.

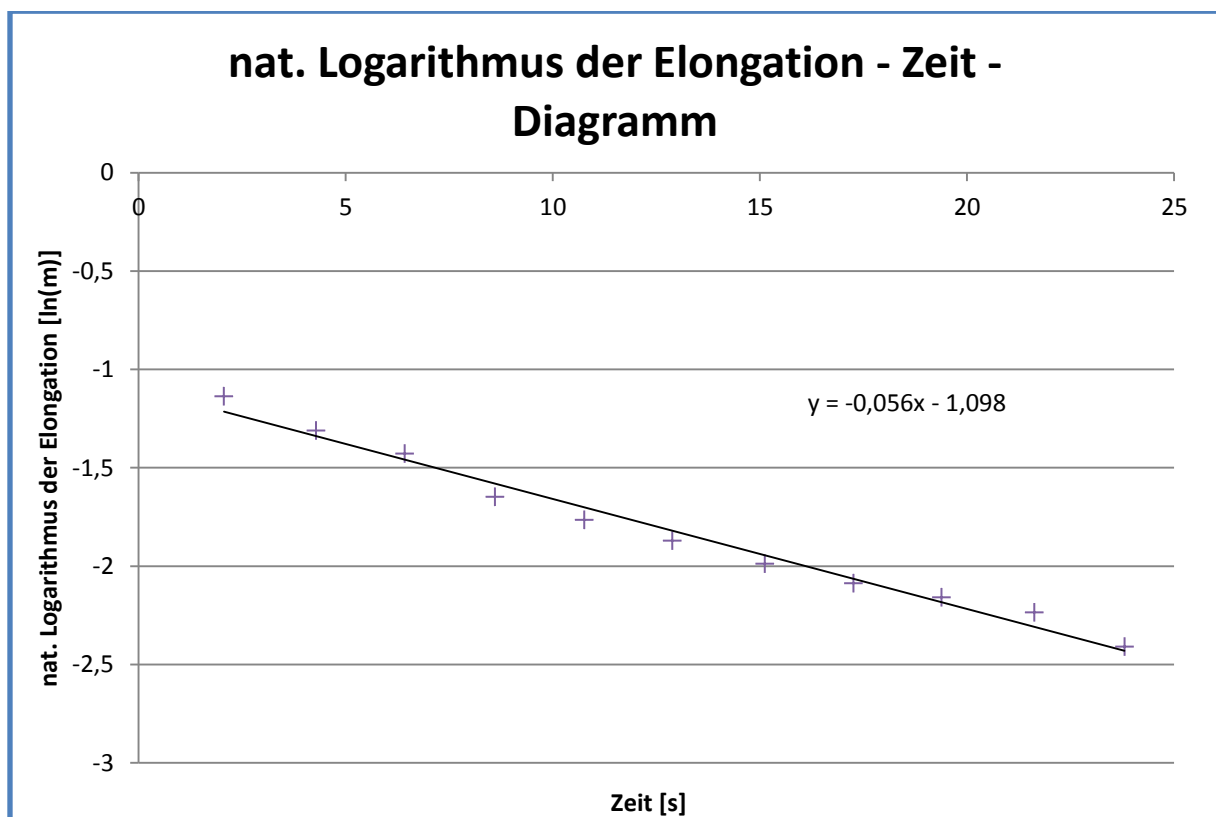


Diagramm 1: Beispiel für die lineare Regression einer logarithmierten gedämpften Schwingung

Außerdem lässt sich die Dämpfungskonstante über das logarithmische Dekrement (Λ), also dem natürlichen Logarithmus des Dämpfungsverhältnisses bestimmen. Dabei ist es bei unseren Messungen jedoch deutlich günstiger das Verhältnis von zwei Amplituden zu vergleichen, die nicht unmittelbar aufeinanderfolgen, sondern zwischen denen eine Anzahl von n Perioden liegt, um ein exakteres Ergebnis zu erhalten.

$$\Lambda = \frac{1}{n} * \ln \frac{A(t)}{A(t+n)}$$

A ... Amplitude

n ... Anzahl der Perioden

weiterhin gilt:

$$\Lambda = k * T$$

Umformen ergibt dann:

$$k = \frac{\Lambda}{T} = \frac{\ln \frac{A(t)}{A(t+n)}}{n * T}$$

Da sowohl mit dem Smartphone als auch mit dem LabQuest riesige Datensätze entstanden sind, war es dringend erforderlich ein Programm zu schreiben, das selbstständig die Messdaten filtert. Infolgedessen wurde eine Software entwickelt die im Bereich positiver Beschleunigungen immer den Maximalwert ermittelt und in eine Excel-Datei schreibt.

Die Ergebnisse der Arbeit werden nun in tabellarischer Form zusammengefasst, um eine gewisse Transparenz zu bewahren. Es wurden für alle Messreihen eine lineare Regression des logarithmierten Schwingungsverlaufes, sowie das logarithmische Dekrement über die gesamte Messzeit gebildet.

Die für das logarithmische Dekrement verwendete Schwingungsdauer wird nach folgender Formel berechnet:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{D}} \quad | \quad m = 0,38 \text{ kg}$$

→ weiche Feder: $T = 2,24\text{s}$

harte Feder: $T = 1,89\text{s}$

(1) Gedämpfte Schwingung mit Pappscheibe

Feder	Messgerät	Auslenkung am Start [m]	Dämpfungs-konstante (lin. Regression)	Dämpfungs-konstante (log. Dekrement)	Abweichung Smartphone vom LabQuest für lin. Regr. [%]	Abweichung Smartphone vom LabQuest für log. Dekrem. [%]
weich	Smartphone	0,15	0,02	0,0217	33,33	29,77
	Lab Quest	0,15	0,03	0,0309		
	Smartphone	0,30	0,03	0,0345	40	33,01
	Lab Quest	0,30	0,05	0,0515		
	Smartphone	0,45	0,04	0,0419	20	26,23
	Lab Quest	0,45	0,05	0,0568		
hart	Smartphone	0,15	0,02	0,0246	33,3	24,77
	Lab Quest	0,15	0,03	0,0327		
	Smartphone	0,30	0,03	0,0408	25	1,21
	Lab Quest	0,30	0,04	0,0413		
	Smartphone	0,45	0,04	0,0473	0	4,63
	Lab Quest	0,45	0,04	0,0496		

Es ergeben sich nun teils große Schwankungen von bis zu 40% zwischen dem Smartphone und dem Lab Quest, jedoch kann man auch hier keine Aussage darüber treffen, ob das Handy ungenauere Messwerte liefert, da man nicht weiß, wie zuverlässig der Lab Quest ist. Allerdings kann man dennoch von diesem Standpunkt ausgehen, da es sich dabei um ein professionelles Messsystem handelt, welches speziell für experimentelle Zwecke entwickelt wurde, währenddessen ein Handy den Beschleunigungssensor lediglich zur räumlichen Orientierung nutzt.

Des Weiteren wird ersichtlich, dass die Messwertunterschiede zwischen Handy und Lab Quest bei der harten Feder geringer werden. Dies lässt sich in erster Linie damit begründen, dass die harte Feder eine geringere Periodendauer hat und damit in derselben Messzeit öfter schwingt. Im Mittel werden damit die Fehler reduziert.

Ebenfalls auffällig ist, dass das Handy bei größeren Auslenkungen geringere Messwerttoleranzen aufweist, als bei kleineren Auslenkungen. Folglich ist der Sensor relativ grob und nicht sensitiv genug, um geringe Beschleunigungen sauber zu erfassen.

Im Folgenden soll der Zusammenhang zwischen der Auslenkung und der Dämpfungskonstante sowie der Einfluss der Federkonstante auf den Abklingvorgang analysiert werden. Wie bereits in den Vorüberlegungen beschrieben ergibt sich für die Dämpfungskonstante, wenn man von Stoke'scher Reibung ausgeht, folgender Zusammenhang:

$$k = \frac{d}{2 * m}$$

Demzufolge ist der Abklingkoeffizient lediglich von der schwingenden Masse und der wirkenden Reibung, also der Viskosität des Strömungsmediums und des Radius des schwingenden Objektes abhängig. Demzufolge hat die Federkonstante und auch die Auslenkung und somit Geschwindigkeit keinen Einfluss auf die Abklingkonstante.

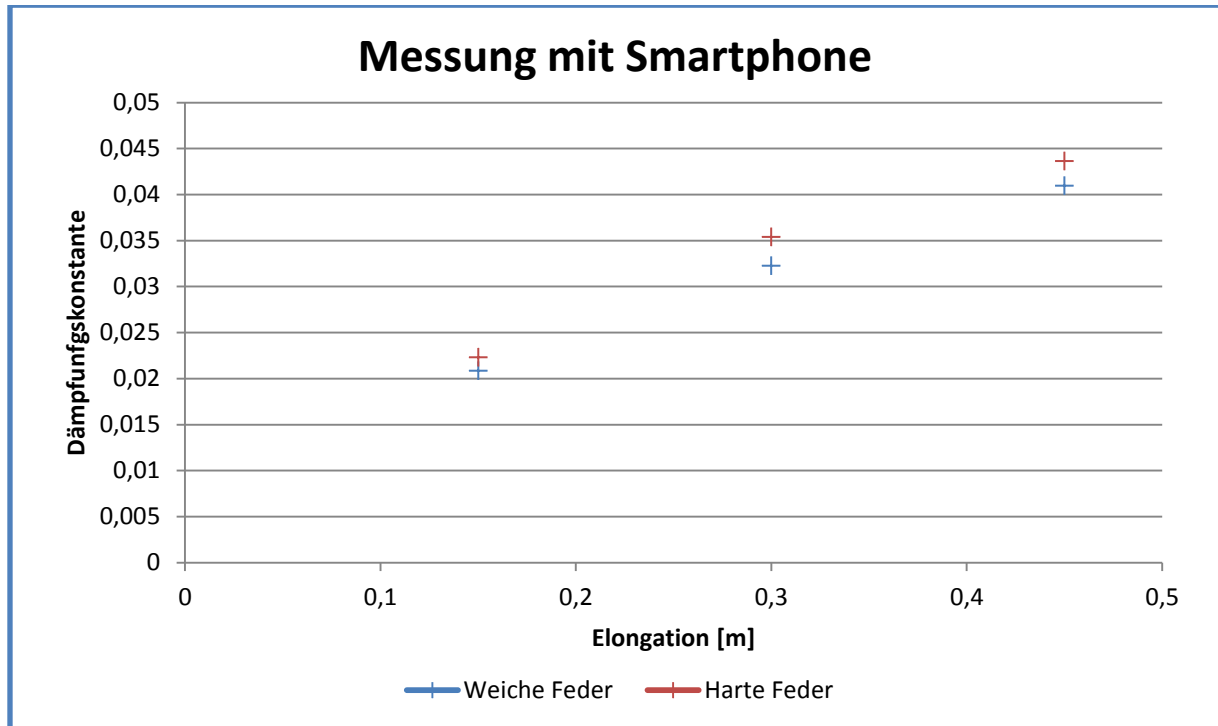


Diagramm 2: Messwerte Smartphone – Messung

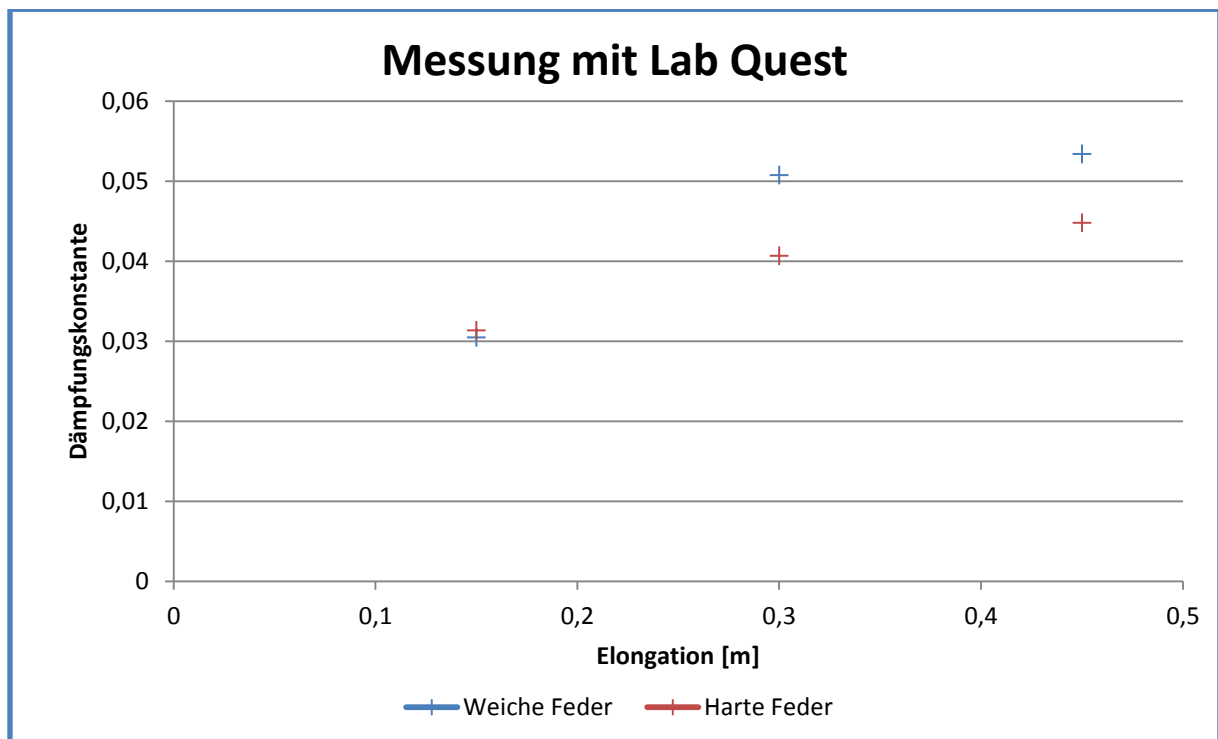


Diagramm 3: Messwerte LabQuest – Messung

Bei beiden Diagrammen wurde ein Mittelwert aus den grafisch und den numerisch ermittelten Dämpfungskonstanten erstellt.

Bei beiden Messungen (Handy und Smartphone) deutet sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Auslenkung und der Dämpfungskonstante an. Dies lässt sich damit begründen, dass am schwingenden Objekt keine laminare Strömung herrschte und das Stoke'sche Gesetz folglich zu ungenau ist. Der Luftwiderstand müsste mit der Gleichung für die turbulente Umströmung angegeben werden, bei der die Geschwindigkeit des Oszillator mit dem Quadrat eingeht.

Dies lässt sich jedoch schwer mathematisch begründen, da die Lösung einer Differentialgleichung mit Hilfe von komplexen Zahlen notwendig wäre, was unsere derzeitigen Fähigkeiten und Kenntnisse weit überschreitet.

Generell muss bei unseren Messwerten jedoch beachtet werden, dass die Dämpfungskonstanten sehr klein sind und somit absolut gesehen minimale Abweichungen zu recht großen relativen Fehlern führen. Zudem lässt sich bei der Messung mit dem Lab Quest ein konstantes Verhalten der Dämpfungskonstante in Abhängigkeit von der Auslenkung ablesen, sodass die entsprechend mathematisch hergeleitete Beziehung bezüglich des Abklingkoeffizientens weitgehend bestätigt werden.

2.6 Fehlerbetrachtung

Bei diesem Experiment spielen subjektive und objektive Fehler eine etwa gleichgewichtete Rolle. Die objektiven Fehler beziehen sich insbesondere auf Fehler der Messsysteme (Smartphone und LabQuest), währenddessen die subjektiven Fehler vor allem in der Auslenkung Einfluss nehmen.

Subjektive Fehler	Objektive Fehler
ungenauere Auslenkung des Handys/ LabQuests	Eigenbewegung der Fehler → Reibung an der Aufhängung
nicht ganz identische Fixierung der dämpfenden Pappe und Massestücken	„Dehnung“ der Feder
ungerade Auslenkung des Handys → Handy "schwingt und pendelt"	Messfehler der Messsysteme

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler
Kommunikationsgeräte

3. Experiment 2

Die Zentripetalbeschleunigung – Drehbewegungen

3.1 Zielstellung

Da wir bisher den Beschleunigungssensor des Handys nur in Relation zu dem des LabQuests 2 betrachtet haben, können wir noch keine Aussage darüber treffen, ob der Sensor, absolut gesehen, korrekte Messwerte liefert.

Aus diesem Grund benutzen wir das Smartphone als Beschleunigungssensor in einem Windkanal, um die per Beschleunigungssensor erfasste Drehzahl mit der über die Wechselspannungsfrequenz des Generators berechnete zu vergleichen. Das Endziel ist dann die Einschätzung der Tauglichkeit eines Smartphone-Beschleunigungssensors im schulischen Gebrauch.

3.2 Vorbetrachtung

Das Handy befindet sich an einem der drei Rotorblätter und führt sowohl eine beschleunigte, als auch eine gleichförmige Rotationsbewegung durch.

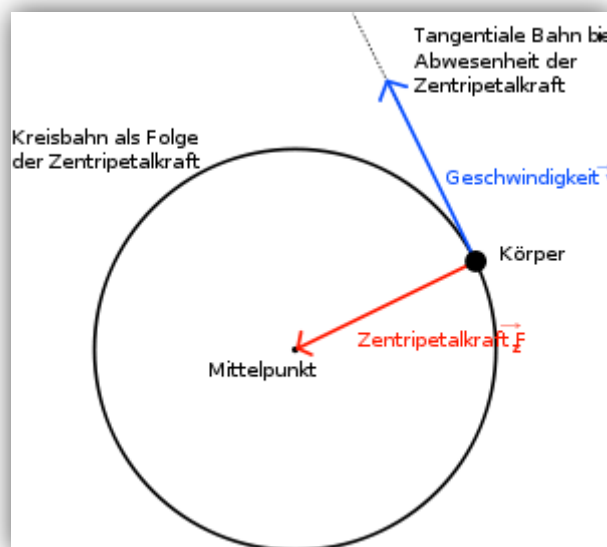


Abbildung 8: Physikalische Größen der Kreisbewegung

Auf jeden Körper, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, wirkt die sogenannte Zentripetalkraft, die den Körper auf dieser Bahn hält. Da es zu jeder wirkenden Kraft eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Gegenkraft gibt (3. Newton'sches Axiom), wirkt auf den Körper (Handy) der Masse m eine Fliehkraft und somit erfährt das Smartphone eine Beschleunigung (2. Newton'sches Axiom), die senkrecht zur Bewegungsrichtung steht und vom Mittelpunkt der Kreisbewegung weg zeigt.

Damit ergibt sich:

$$F_Z = F_B$$

$$\frac{m * v^2}{r} = m * a$$

Umformung ergibt:

$$v = \sqrt{a * r}$$

Folglich lässt sich die Bahngeschwindigkeit v aus dem Radius der Kreisbewegung sowie der gemessenen Beschleunigung a ermitteln.

Weiterhin lässt sich nun aus der momentanen Bahngeschwindigkeit die entsprechende momentane Drehzahl des Rotors ableiten.

Es gilt:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{T}$$

Umformung ergibt:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{\sqrt{a * r}}$$

Weiterhin gilt:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{2\pi r}{\sqrt{a * r}}} = \frac{\sqrt{a * r}}{2\pi r}$$

Folglich kann man auch die Drehzahl direkt aus der gemessenen Beschleunigung und dem Radius der Rotation bestimmen.

Drehzahlbestimmung mit Hilfe der Wechselstromfrequenz

Nun muss noch die exakte Drehzahl über die Frequenz der induzierten Wechselspannung ermittelt werden.

Der Generator hat 10 Spulenpaare, d.h. innerhalb einer Umdrehung werden 10 Wechselspannungsperioden t induziert, wobei die Dauer von t von der Bahngeschwindigkeit des Flügels abhängig ist.

Damit ergibt sich:

$$T = 10 * t$$

Weiterhin gilt:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 * t}$$

Damit ergibt sich also, dass die Drehzahl der Rotoren aus der momentanen Periodendauer ermittelt werden kann.

3.3 Geräte und Versuchsaufbau

Im Zentrum des Versuchs steht ein elektronisch stufenlos regelbarer Windkanal mit einem Generator. Am diesem Generator sind Lenz-Rotoren befestigt, die aufgrund ihrer Geometrie ideal für die Befestigung eines Smartphones geeignet sind. Die Befestigung erfolgte über zweiseitiges Klebeband an einer metallischen Schutzhülle für das Smartphone.

verwendete Geräte:

- Windkanal mit Spannungsversorgung
- Generator
- Lenz-Rotoren

verwendete Messgeräte:

- Vodafone Smart 3
- Cassy

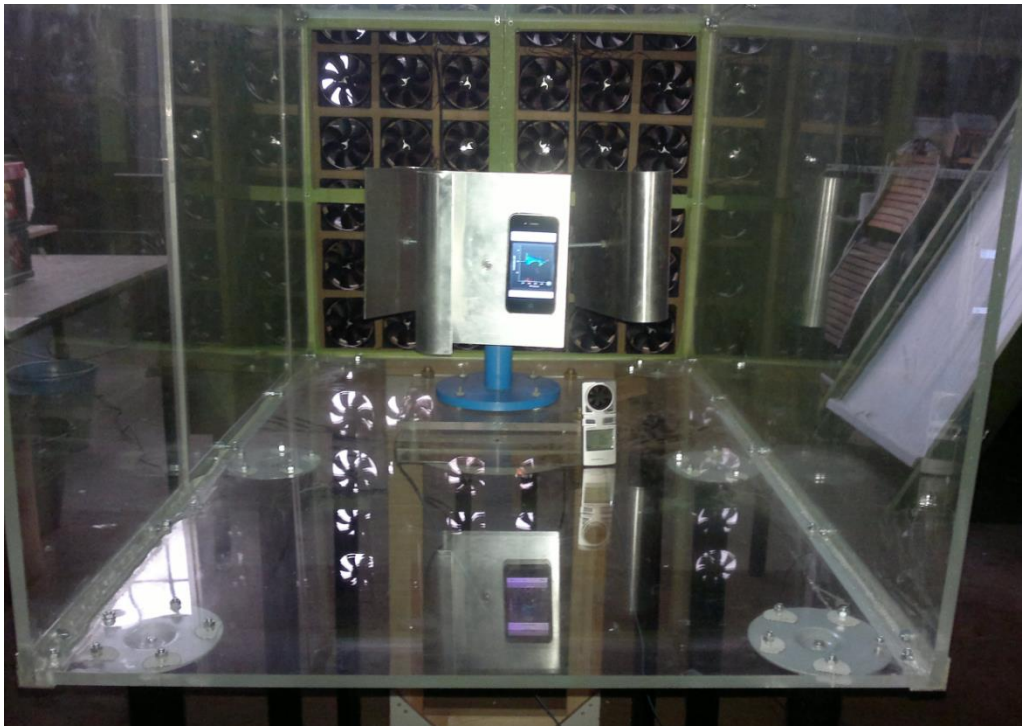


Abbildung 9: Messaufbau Windkanal

3.4 Durchführung und Messwertaufnahme

Für die experimentelle Untersuchung wurde ein konstanter Lastwiderstand von $R = 500 \Omega$ verwendet, da dieser direkten Einfluss auf die Drehzahl der Rotoren hat. Der Widerstandswert wurde dabei so gewählt, dass nach subjektivem Ermessen die Rotordrehzahl in einem bestimmten Windgeschwindigkeitsintervall (3 m/s – 5 m/s) von langsam bis schnell variiert, um den Beschleunigungssensor in unterschiedlichen Messbereichen zu analysieren.

Die Messung mit dem Smartphone konnte nicht die Messung mit Cassy triggern bzw. andersherum. Da eine gegenseitige Triggerung nicht möglich war, mussten die Messungen manuell gestartet werden, was möglichst zeitgleich erfolgte.

Dabei wurde zuerst der Windkanal angeschalten, d.h. die Spannungsversorgung wurde so eingestellt, dass der Windmesser im Windkanal die gewünschte Windgeschwindigkeit anzeigt. Die Rotoren wurden noch festgehalten und zum Startpunkt der Messung losgelassen.

Über die Software Cassy Lab 2 konnten wir die induzierte Generatorspannung in Echtzeit mitverfolgen und haben damit gesehen, wann die Maximalspannung erreicht wurde. Die Rotoren drehten dann für eine gewisse Zeit bei maximaler Drehzahl weiter, um später Messfehler rausrechnen zu können. Dann wurde die Spannungsversorgung des Windkanals ausgeschaltet und gewartet bis die Rotoren sich nicht mehr bewegten, um dann die Messung zu beenden.

Diese Vorgehensweise erfolgte für fünf verschiedene Windstärken (3; 3,5; 4; 4,5 und 5 m/s). Es macht dabei keinen Sinn das Experiment bei noch weiteren Windgeschwindigkeiten durchzuführen, da diese im Windkanal um ca. $\pm 0,1$ m/s zeitlich schwankt. Dies ist bedingt durch eine ungleichmäßige Strömung im Messraum sowie Schwankungen des Spannungsversorgers.

Bei geringeren Windgeschwindigkeiten (< 3 m/s) ist die Rotationsbewegung unter Last nicht möglich, was durch geometrische Eigenschaften der Rotoren bedingt ist.

Das Handy nahm die Messwerte dabei mit einer Frequenz von 50 Hz auf (50 Messwerte/Sekunde) und Cassy mit einer Messrate von 1000 Messwerten pro Sekunde. Damit ist die Messauflösung in beiden Fällen recht hoch, um möglichen Messwertschwankungen entgegenzuwirken.

3.5 Ergebnisse & Auswertung

Aufgrund der riesigen Datenmengen werden in dieser Arbeit nicht alle Messwerte dargestellt, sondern nur die Ergebnisse der Messwerteanalyse. Bei der digitalen Spannungsmessung über die Messsoftware Cassy Lab 2 können über eine Zoomfunktion dann auch direkt die Periodendauer der Wechselspannung ermittelt und letztendlich die Drehzahl berechnet werden.

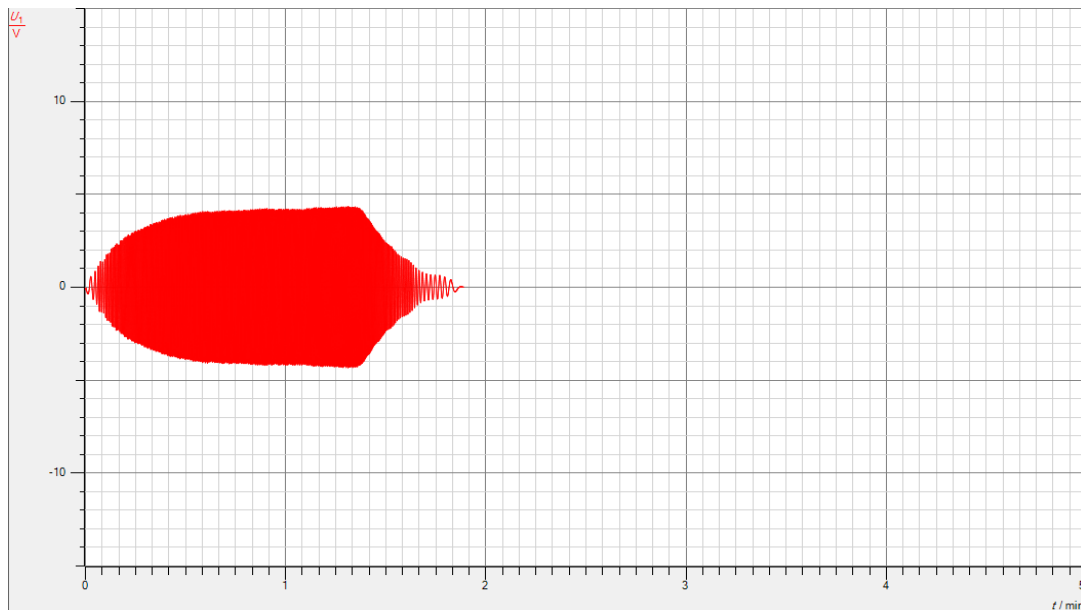


Diagramm 4: Beispielmessung mit Cassy Lab 2

Die mit dem Smartphone gewonnenen Messwerte können über eine Datenverarbeitungssoftware direkt zur Berechnung der maximalen Drehzahl herangezogen werden.

3.5.1 Bestimmung der maximalen Drehzahl

Die maximale Drehzahl kann direkt über die Periodendauer der Wechselspannungsfrequenz ermittelt werden und dient als Referenzwert. Dabei muss man keine Mittelwertbildung vornehmen, da die Spannung nur geringfügig schwankt. Die aus den Beschleunigungen, welche vom Smartphone gemessen wurden, berechneten Drehzahlen müssen über das Intervall konstanter Generatorspannung gemittelt werden.

Die Endergebnisse werden in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Windstärke [m/s]	Messung	Drehzahl (Cassy) [1/s]	Drehzahl (Handy) [1/s]	Abweichung [%]
3	1	0,516	0,464	11,21
3	2	0,602	0,534	12,73
3	3	0,648	0,632	2,53
3,5	1	0,755	0,746	1,21
3,5	2	0,680	0,656	3,66
3,5	3	0,673	0,654	2,91
4	1	0,866	0,858	0,93
4	2	0,864	0,863	0,12
4	3	0,858	0,861	0,35
4,5	1	1,064	1,056	0,76
4,5	2	1,004	1,030	2,52
4,5	3	1,010	1,004	0,60
5	1	1,159	1,186	2,28
5	2	1,178	1,191	1,09
5	3	1,187	1,197	0,84

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass der Handybeschleunigungssensor recht genaue Messwerte liefert, da die Werte im Mittel um ca. 2,91% abweichen.

Dabei ist auffällig, dass die Abweichungen bei geringen Windgeschwindigkeiten am höchsten sind, d.h. die Sensorik ist gegenüber geringeren Beschleunigungen weniger sensitiv. Mit steigendem „Messbereich“ nimmt jedoch der Fehler (also die Abweichung zwischen den Messsystemen) ab und damit eignet sich der interne Beschleunigungssensor des Smartphones auch für den Einsatz in der Schulphysik und könnte problemlos im Unterricht eingebunden werden.

Um die Messwerte physikalisch auszuwerten, muss allerdings zunächst eine Mittelwertbildung aus den von Handy und Cassy gewonnenen Daten erfolgen, um Messfehler rauszurechnen:

Windstärke [m/s]	Drehzahl [1/s]
3	0,566
3,5	0,694
4	0,862
4,5	1,028
5	1,183

Nun geht es darum einen Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Rotordrehzahl zu finden. Zuerst betrachte man die Energieumwandlung im Windkanal:

Die kinetische Energie des Windes wird zum einen in Rotationsbewegung umgewandelt und zum anderen in elektrische Energie. Für unsere Betrachtungen kann die verrichtete Reibungsarbeit vernachlässigt werden.

Herleitung der kinetischen Energie des Windes:

Für die kinetische Energie gilt:

$$\frac{1}{2} * m * v^2$$

Der Luftstrom (=Massenstrom) ergibt sich mit:

$$m = A * \rho * v$$

Damit ergibt sich:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} * A * \rho * v^3$$

Damit ergibt sich für den Energieerhaltungssatz:

$$E_{kin} = E_{elektrisch} + E_{rot}$$

$$\frac{1}{2} * A * \rho * v^3 = \frac{U^2}{R} * t + \frac{1}{2} * J * \omega^2$$

$$\frac{1}{2} * A * \rho * v^3 = \frac{U^2}{R} * t + \frac{1}{2} * J * 4 * \pi^2 * f^2$$

Nun ergibt sich also folgendes Problem: Die Windgeschwindigkeit beeinflusst demzufolge die Drehzahl (f) des Rotors sowie die induzierte Generatorspannung (U).

Folglich muss zuerst der bestehende Zusammenhang zwischen der induzierten Spannung sowie der Rotordrehzahl ermittelt werden.

Die Rotationsenergie der Flügel wird in elektrische Energie umgewandelt:

$$E_{rot} = E_{elektrisch}$$

$$\frac{1}{2} * J * 4 * \pi^2 * f^2 = \frac{U^2}{R} * t$$

Damit ergibt sich:

$$f \sim U$$

Folglich hängt die Rotordrehzahl direkt mit der induzierten Generatorspannung zusammen. Man kann also die Generatorspannung direkt aus der Drehzahl des Flügels berechnen.

Es gilt folgender Zusammenhang:

$$U = x * f$$

Der Faktor x ist dabei ein bestimmter Proportionalitätsfaktor.

Damit ergibt sich für die Energiebetrachtung im Windkanal:

$$\frac{1}{2} * A * p * v^3 = \frac{x^2 * f^2}{R} * t + \frac{1}{2} * J * 4 * \pi^2 * f^2$$

Ausklammer von f ergibt:

$$\frac{1}{2} * A * p * v^3 = f^2 * \left(\frac{x^2}{R} * t + \frac{1}{2} * J * 4 * \pi^2 \right)$$

Damit ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$v^3 \sim f^2$$

Die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz ist proportional zur Drehzahl im Quadrat. Nun soll eben diese hergeleitete Proportionalität für die gewonnenen Messwerte überprüft werden.

Windgeschwindigkeit [v in m/s]	Drehzahl [f in 1/s]	Proportionalitätsfaktor [v ³ /f ²]
3	0,566	84,28
3,5	0,694	89,02
4	0,862	86,13
4,5	1,028	86,23
5	1,183	89,32

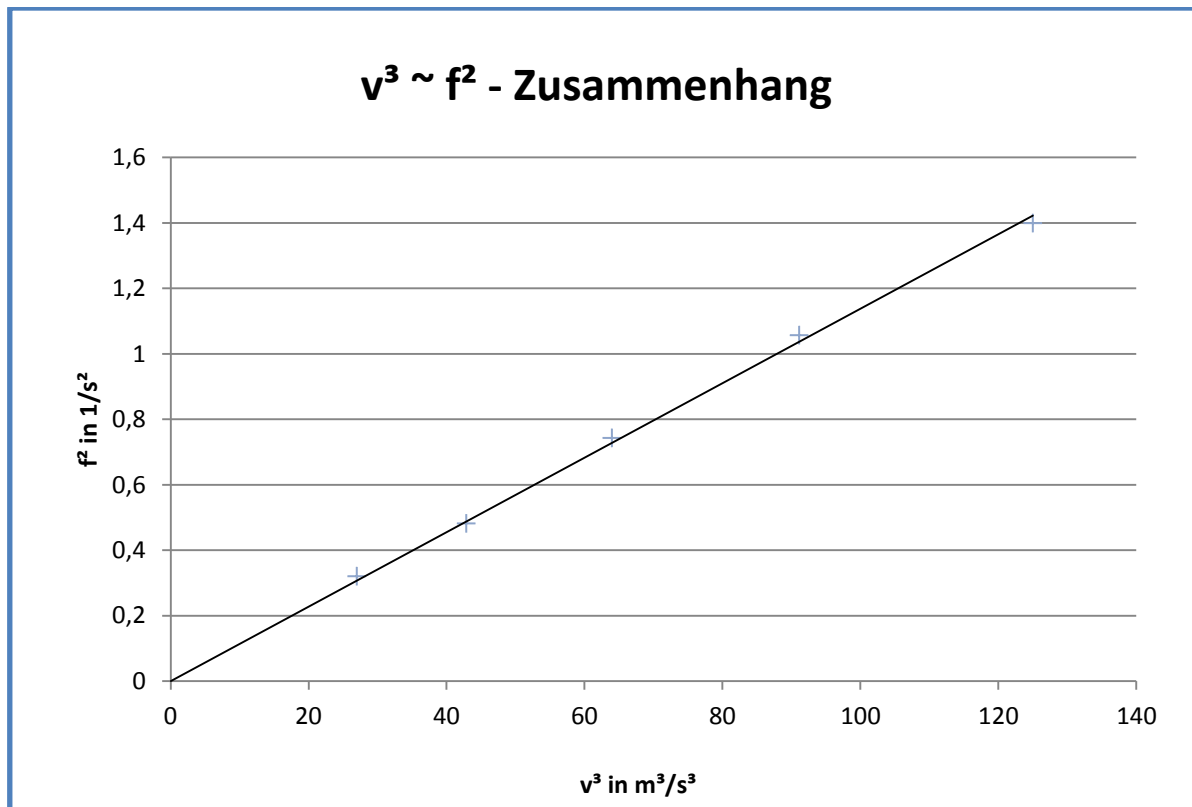


Diagramm 5: Abhängigkeit der quadratischen Drehzahl von der kubischen Windgeschwindigkeit

Der hergeleitete Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Drehzahl der Rotoren wurde somit experimentell nachgewiesen.

3.5.2 Analyse des Anlaufverhaltens

Ein entscheidender Teil für die Entwicklung von Windkraftanlagen ist ebenfalls das Anlaufverhalten, denn diese Eigenschaft ist besonders ausschlaggebend für die Stromerzeugung aus der kinetischen Energie des Windes bei geringen Windgeschwindigkeiten.

Da der Handybeschleunigungssensor zuverlässige Messwerte liefert, kann man ihn auch dafür verwenden, die Beschleunigung von Rotoren zu bestimmen. Dazu misst man die Beschleunigung des Flügels und berechnet daraus die Drehzahl. Die Rotordrehzahl kann dann grafisch über der Zeit dargestellt werden.

Mit Cassy wäre eine Analyse des Anlaufverhaltens deutlich komplexer, da diese Software diesbezüglich nur geringfügige Auswertungsmöglichkeiten hat, sodass sich hier die Anwendung geeigneter Sensorik eignet.

Da die Beschleunigung ein nichtlinearer Vorgang ist, kann man nicht direkt die Drehzahländerung ermitteln. Es ist jedoch möglich, unter Verwendung einer geeigneten Tabellenkalkulationssoftware, eine Regressionsfunktion zu bilden und diese abzuleiten, um das Monotonieverhalten zu analysieren.

Dafür betrachteten wir die Spannungsmessungen von Cassy und schätzten annäherungsweise ab, zu welchem Zeitpunkt die Generatorspannung einen konstanten Wert erreicht. Dieser Zeitpunkt lag bei allen Windgeschwindigkeiten ca. bei 25 s. Mit allen Messwerten vor diesem Zeitpunkt wurden dann die Regression durchgeführt.

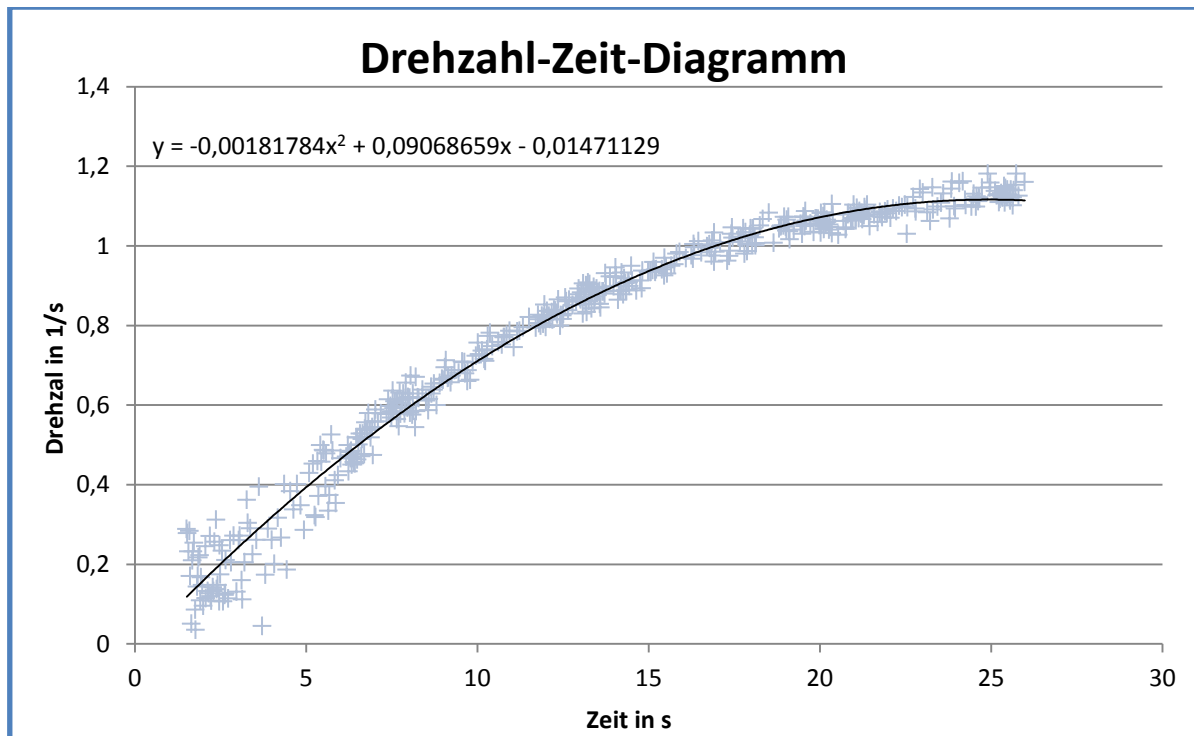


Diagramm 6: Beispiel der quadratischen Regression der Messwerte der Rotoranlaufphase

Aus der Regression wird ersichtlich, dass zwischen der Drehzahl und der Zeit ein quadratischer Zusammenhang besteht, d.h. die Drehzahl verändert sich quadratisch. Mit der ersten Ableitung der Regressionsfunktion erhält man einen linearen Zusammenhang, wobei der Anstieg ein quantitatives Merkmal für das Anlaufverhalten der Flügel ist. Für unsere Untersuchungen haben wir stets den Betrag des Anstieges betrachtet, um Vorzeichenirritationen zu vermeiden.

Es gilt: desto größer der Betrag des Anstieges der abgeleiteten Regressionsfunktion, desto schneller ändert sich die Drehzahl der Rotors.

In der folgenden Tabelle werden die ermittelten Anstiegsbeträge dargestellt:

Windgeschwindigkeit [m/s]	Messung	Betrag des Anstieges
3	1	0,00089792
3	2	0,00010582
3	3	0,00032491
3,5	1	0,00041926
3,5	2	0,00038539
3,5	3	0,00039824
4	1	0,00054512
4	2	0,00051126
4	3	0,00061592
4,5	1	0,00091873
4,5	2	0,00101356
4,5	4	0,00097421
5	1	0,00363568
5	2	0,00107048
5	3	0,00089204

Es ergeben sich damit folgende Mittelwerte:

Windgeschwindigkeit [m/s]	Betrag des Anstieges
3	0,00014288
3,5	0,00040096
4	0,00055743
4,5	0,00096883
5	0,00186607

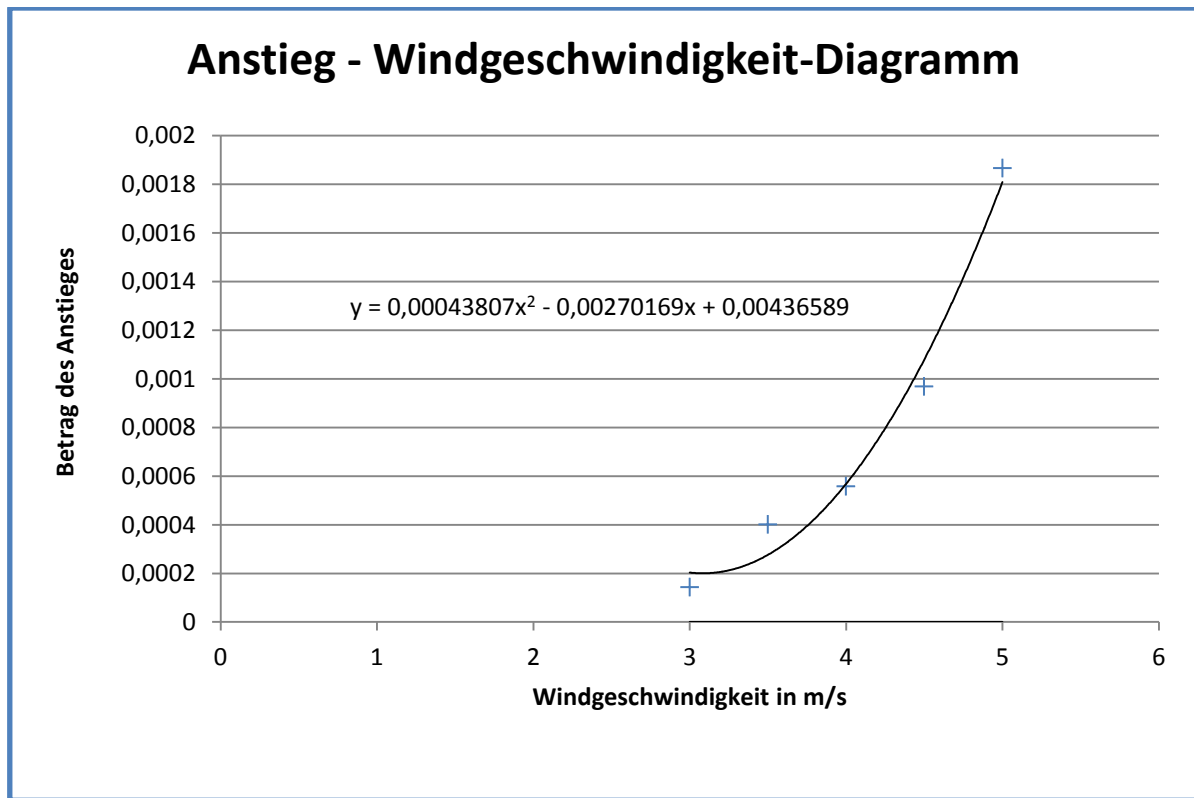


Diagramm 7: Anstieg der ersten Ableitung der Beschleunigungsphase in Abh. der Windgeschwindigkeit

Aus dem Diagramm und der berechneten Regressionsfunktion wird ersichtlich, dass zwischen der Windgeschwindigkeit und dem Anstieg ein quadratischer Zusammenhang besteht. Folglich beschleunigt der Flügel desto schneller, desto größer die Windgeschwindigkeit im Windkanal ist.

Eine mathematische Begründung ist in diesem Fall nicht möglich, da man mit der Ableitung keine exakten Werte erhält, welche das Monotonieverhalten beschreiben, sondern nur Faktoren (Ableitung), die die Drehzahländerung beeinflussen. Man kann jedoch versuchen eine inhaltliche Erklärung zu finden:

Die Kraft, welche den Flügel in Rotation versetzt, ist eine Widerstandskraft, da es sich beim verwendeten Lenz-Rotor um einen Widerstandsläufer handelt. Ein Luftstrom trifft auf eine Flügelfläche und aufgrund der Wechselwirkung von Kräften wird der Rotor beschleunigt. Die Rotationsbewegung wird dadurch ermöglicht, dass die Fläche, welche zur Beschleunigung genutzt wird, größer ist, als die Fläche, die den Flügel in seiner Bewegung abbremst. Zusammenfassend ist also die Flügelgeometrie für die Rotationsbewegung verantwortlich.

Für die effektive Flügelfläche gilt demnach:

$$A_{effektiv} = A_{Flügelinnenseite} - A_{Flügelaußenseite}$$

Für die resultierende Beschleunigung in Drehrichtung gilt demzufolge:

$$F_{Beschleunigung} = F_{Widerstand}$$

$$m * a = \frac{1}{2} * A_{effektiv} * \rho * c_W * v^2$$

Dabei wird jedoch die Flügelgeschwindigkeit nicht beachtet, denn die Beschleunigung, die der Rotor erfährt, ist selbstverständlich abhängig von der relativen Windgeschwindigkeit zum Flügel.

Damit ergibt sich:

$$m * a = \frac{1}{2} * A_{effektiv} * \rho * c_W * (v_{wind} - v_{Rotor})^2$$

Unter Verwendung dieser Zusammenhänge lässt sich nun ebenfalls vermuten, dass die Beschleunigung des Flügels vom Quadrat der relativen Windgeschwindigkeit abhängt. Außerdem lässt sich damit erklären, warum die Drehzahl mit zunehmender Windgeschwindigkeit abnimmt, denn die Flügelgeschwindigkeit nimmt zu und die resultierende Kraft wird dadurch immer geringer, sodass der Flügel nach einer gewissen Zeit keine Beschleunigung mehr erfährt. Mit Hilfe dieser physikalischen Betrachtungen konnte also der experimentell ermittelte quadratische Zusammenhang untermauert werden.

Für eine endgültige Schlussfassung müsste man jedoch noch detaillierter das Anlaufen von Rotoren analysieren. So könnte man mit Hilfe aufwendiger Berechnungen eine mittlere Winkelbeschleunigung des Flügels in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ermitteln und nachprüfen, ob auch dann ein quadratischer Zusammenhang besteht. Dieses Verfahren sprengt allerdings unseren messtechnischen Rahmen und soll in dieser Arbeit keine Rolle mehr spielen.

3.6 Fehlerbetrachtung

Da wir während der gesamten Messungen stets digital Messwerte erfasst haben, spielen insbesondere objektive Fehler eine Rolle, d.h. die Messfehler der verwendeten Messsysteme. Schließlich ergeben sich folgende Fehlerquellen:

Subjektive Fehler	Objektive Fehler
ungenaueres Einstellen des Spannungsversorgers des Windkanals und damit der Windgeschwindigkeit	Schwankungen der Windgeschwindigkeit, der Raumtemperatur sowie des Luftdruckes
Ungenauigkeiten bei der Messwerteanalyse	Messfehler beim Smartphone und Cassy
	ungleichförmige Rotationsbewegung der Generatorplatte

3.7 Mögliche Anwendung im Physikunterricht

Der verwendete Windkanal ist Teil unseres Jugend forscht – Projektes und wird nach dem Schulabschluss der Schule übergeben. Folglich können die oben beschriebenen Experimente später auch im Schulalltag durchgeführt werden. Selbstverständlich kann die Handysensorik auch für andere Experimente genutzt werden, um Rotationsbewegungen zu untersuchen. So könnte man beispielsweise das Handy an einem freigelagerten Rad oder einer Tür befestigen, um dann Geschwindigkeiten oder andere physikalische Zusammenhänge messen und erklären zu können.

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler
Kommunikationsgeräte

4. Experiment 3

Die magnetische Hysterese – Hystereseschleifen

4.1 Zielstellung

Letztendlich soll nun auch der Magnetfeldsensor des Smartphones getestet und mit dem Sensor des LabQuest2 verglichen werden, um dessen Tauglichkeit für den schulischen Gebrauch zu analysieren.

Mit diesem Experiment soll das Magnetisierungsverhalten eines Eisenstabes mit Hilfe der Hystereseschleife untersucht werden.

4.2 Vorbetrachtung⁴

4.2.1 Materie im Magnetfeld

Befinden sich ferromagnetische Stoffe, wie beispielsweise Eisen, in einem Magnetfeld, so wird dieses in seiner magnetischen Wirkung deutlich verstärkt. Der Grund dafür liegt in der Ausrichtung der Molekularmagnete des Stoffes, wodurch weitere magnetische Feldlinien entstehen. Zudem werden die magnetischen Feldlinien durch einen ferromagnetischen Stoff angezogen, da sie in solchen Stoffen besser geleitet werden, sodass die Feldlinien gebündelt werden.

4.2.2 Magnetisierung

Befindet sich beispielsweise ein Eisenkern in einer stromdurchflossenen Spule, so werden die Molekularmagnete im Eisenkern durch die magnetische Wirkung der Spule ausgerichtet. Mit zunehmender Stromstärke werden immer mehr der Molekularmoleküle angeordnet, bis schließlich alle ausgerichtet sind, sodass eine Sättigung eintritt.

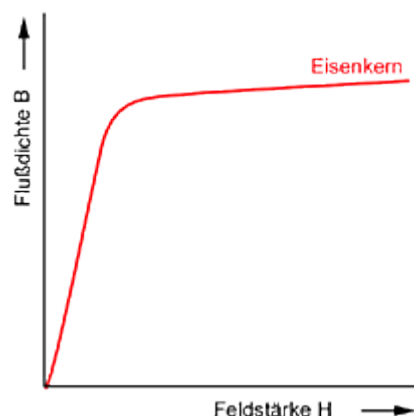


Abbildung 10: Magnetisierung eines Eisenkerns

⁴ Es wurden folgende Quellen genutzt – Internet: 14 Literatur: 1

4.2.3 Hystereseschleife

Wird nun der Strom in einer eisengefüllten Spule reduziert, so sinkt auch die magnetische Flussdichte des Eisenkerns, jedoch bleibt nach dem Abschalten des Stromes noch ein gewisser Restmagnetismus zurück (griechisch: Hysterese = Zurückbleiben). Diesen Restmagnetismus bezeichnet man auch als Remanenz. Um diese Remanenzflussdichte zu überwinden, d.h. den Eisenkern vollständig zu entmagnetisieren, muss ein Strom durch die Spule entgegengesetzt zur ursprünglichen Stromrichtung fließen. Die Feldstärke, die den zurückbleibenden Magnetismus auf null reduziert, bezeichnet man auch als Koerzitivfeldstärke. Wird nun der entgegen der ursprünglichen Richtung fließende Strom erhöht, so gelangt der Eisenkern erneut in die Sättigung und mit dem Abschalten des Stromes bleibt auch in diesem Fall ein Restmagnetismus erhalten. Die beim Ummagnetisieren eines Eisenkerns durchlaufende Kurve für die magnetische Flussdichte wird Hystereseschleife genannt.

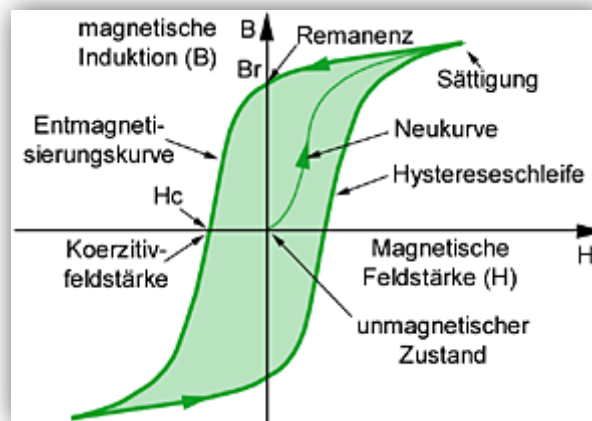


Abbildung 11: Hystereseschleife eines weichmagnetischen Stoffes

4.2.4 Weich- & Hartmagnetische Stoffe

Man unterscheidet bei ferromagnetischen Stoffen in magnetisch weiche und magnetisch harte Stoffe, da die Hysterese unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Weichmagnetische Stoffe haben eine kleine Koerzitivfeldstärke und damit eine sehr schmale Hystereseschleife. Die Fläche der Hysteresekurve gibt die Dichte des Energieverlustes, d.h. den Energieverlust pro Volumen, des ferromagnetischen Stoffes beim Durchlaufen eines vollständigen magnetischen Zyklus an. Demnach haben die magnetisch weichen Stoffe einen geringen Energieverlust beim Ummagnetisieren und eignen sich somit für die Anwendung in Generatoren, Elektromotoren und Transformatoren. Solche Stoffe sind beispielsweise Reineisen, Eisen-Silicium-Legierungen oder Mangan-Zink-Ferrit.

Im Gegensatz dazu gibt es weiterhin hartmagnetische Stoffe, die eine große Koerzitivfeldstärke und damit auch eine großflächige Hystereseschleife aufweisen.

Infolgedessen weisen magnetisch harte Stoffe, wie beispielsweise Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierungen und Bariumferrit, große Energieverluste beim Ummagnetisieren auf und werden deshalb vorzugsweise für Dauermagnete verwendet.

4.2.5 Mathematisch-Physikalische Beschreibung der Hysterese

Der Einfluss von Materie im Magnetfeld soll fortan genauer untersucht werden und dabei insbesondere die Abhängigkeit der Materialmagnetisierung von der Stärke des Magnetfeldes.

Zuerst muss eine physikalische Größe eingeführt werden, die die Stärke des magnetischen Feldes unabhängig von der Materie beschreibt. Für die magnetische Feldstärke einer Spule gilt:

$$H = \frac{I * N}{l}$$

Einheit:	$1 \frac{A}{m}$	H	... magnetische Feldstärke
		I	... Stromstärke
		N	... Windungszahl
		l	... Länge der Spule

Die magnetische Feldstärke beschreibt folglich die Stärke des magnetischen Feldes von der Erzeugerseite und unabhängig vom Einfluss durch Materie im Magnetfeld.

Für die magnetische Flussdichte in Luft/Vakuum gilt:

$$B_0 = \mu_0 * H \rightarrow \mu_0 = \frac{B_0}{H}$$

Für die magnetische Flussdichte in einem Magnetfeld mit Materie gilt:

$$B_M = \mu_0 * \mu_r * H \rightarrow \mu_r = \frac{B_M}{\mu_0 * H} = \frac{B_M}{B_0}$$

μ_0 ... magnetische Feldkonstante

μ_r ... relative magnetische Permeabilitätszahl des Stoffes

Demzufolge kann der Einfluss der Materie durch das Verhältnis zwischen der magnetischen Flussdichte mit Materie und der magnetischen Flussdichte im Vakuum beschrieben werden. Weiterhin kann man diesen Einfluss auch durch die durch die Materie erzeugte zusätzliche Feldstärke als additive Größe darstellen.

Man nennt dies die Magnetisierung M :

$$M = \frac{B_M}{\mu_0} - \frac{B_0}{\mu_0}$$

Mit:

$$B_M = \mu_0 * \mu_r * H \text{ und } B_0 = \mu_0 * H$$

folgt:

$$M = \mu_r * H - H$$

Ausklammern ergibt:

$$M = (\mu_r - 1) * H$$

Man definiert die magnetische Suszeptibilität:

$$(\mu_r - 1) = \chi_m$$

Damit ergibt sich für die Magnetisierung unter dem Einfluss von Materie:

$$M = \chi_m * H$$

Damit ist die magnetische Suszeptibilität χ_m gegenüber der relativen Permeabilitätszahl μ_r die geeignetere Größe, um den Materieeinfluss in der Spule zu erfassen. In einer Hystereseschleife stellt χ_m den Anstieg des Graphens dar und gibt somit an, wie magnetisierbar ein Stoff im externen Magnetfeld ist.

4.3 Geräte und Versuchsaufbau

Für das Experiment benötigt man in erster Linie einen großen Eisenkern, um in die magnetische Sättigung zu gelangen, was in unserer Durchführung mit einem langen Volleisenstab umgesetzt wurde. Zudem benötigten wir ein leistungsstarkes Stromversorgungsgerät sowie eine solide Spule, um eine große magnetische Feldstärke zu erzeugen. Zum Messen der magnetischen Flussdichte wurde ein Smartphone mit entsprechender Messsoftware sowie ein Lab Quest 2 mit externer Hall-Sonde.

Die Stromstärke in der Spule wurde durch ein in Reihe geschaltetes analoges Messgerät erfasst.

Verwendete Geräte:

- Stromversorgungsgerät
- Kabel
- Spule
- Eisenstab

Verwendete Messgeräte:

- Smartphone
- Lab Quest 2

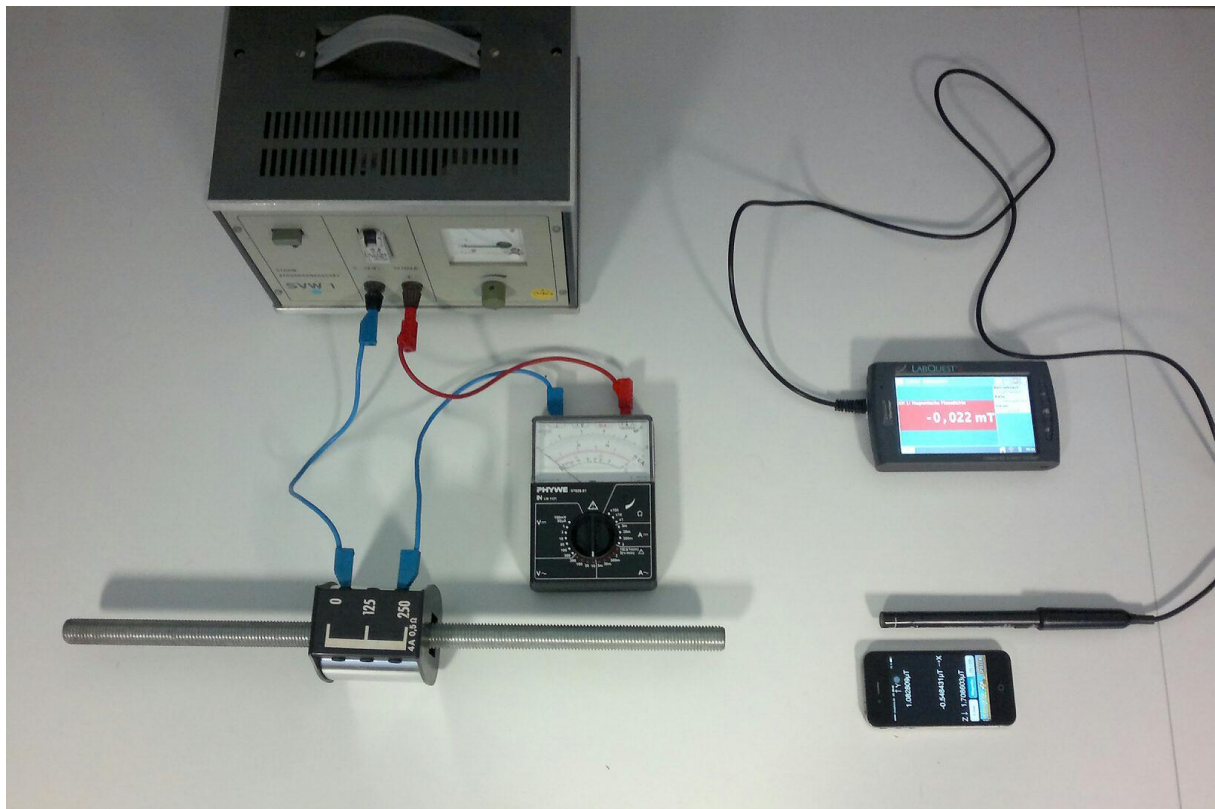


Abbildung 12: Messaufbau

4.4 Durchführung & Messwertaufnahme

Mit dem Stromversorgungsgerät wurde der Stromfluss in der Spule stufenweise um 1 A erhöht, bis dieser an seine Grenzen gelangte und die magnetische Sättigung des Eisenkerns eintrat.

Die magnetische Flussdichte, die vom Eisenkern ausgeht, wurde zeitgleich durch ein Smartphone mit entsprechender Messsoftware sowie dem Lab Quest 2 gemessen, um für synchrone Messbedingungen zu sorgen. Vor dem Messbeginn wurde jedoch bei beiden Messgeräten das Erdmagnetfeld kompensiert, d.h. die Geräte wurden kalibriert. Die gemessenen Werte wurden dann von diesen Geräten abgelesen und in eine Tabellenkalkulation eingefügt.

mag.Feldstärke [A/m]	Flussdichte Lab Quest 2 [mT]	Flussdichte Smartphone [mT]	Abweichung [%]
0	-0,0095	-0,006	36,84
-3125	-0,0175	-0,019	-8,57
-6250	-0,0275	-0,028	-1,82
-9375	-0,0425	-0,033	22,35
-12500	-0,0505	-0,037	26,73
-15625	-0,0675	-0,044	34,81
-18750	-0,0845	-0,051	39,64
-21875	-0,0835	-0,057	31,74
-25000	-0,0915	-0,061	33,33
-28125	-0,1035	-0,064	38,16
-31250	-0,1135	-0,07	38,33
-34375	-0,1205	-0,072	40,25
-37500	-0,1205	-0,072	40,25
-40625	-0,1225	-0,073	40,41
-43750	-0,1235	-0,073	40,89
-40625	-0,1295	-0,076	41,31
-37500	-0,1185	-0,077	35,02
-34375	-0,1145	-0,074	35,37
-31250	-0,1135	-0,065	42,73
-28125	-0,1065	-0,069	35,21
-25000	-0,1025	-0,059	42,44
-21875	-0,0985	-0,057	42,13
-18750	-0,0805	-0,052	35,40
-15625	-0,0735	-0,049	33,33
-12500	-0,0625	-0,041	34,40
-9375	-0,0595	-0,036	39,50
-6250	-0,0452	-0,018	60,18

mag.Feldstärke [A/m]	Flussdichte Lab Quest 2 [mT]	Flussdichte Smartphone [mT]	Abweichung [%]
-3125	-0,0225	-0,006	73,33
0	-0,0105	-0,01	4,76
3125	0,0028	0,004	-42,86
6250	0,0128	0,018	-40,63
9375	0,0335	0,024	28,36
12500	0,0475	0,033	30,53
15625	0,0625	0,039	37,60
18750	0,0775	0,046	40,65
21875	0,0895	0,051	43,02
25000	0,0995	0,061	38,69
28125	0,1075	0,059	45,12
31250	0,1085	0,069	36,41
34375	0,1135	0,071	37,44
37500	0,1255	0,075	40,24
40625	0,1285	0,078	39,30
43750	0,1295	0,078	39,77
40625	0,1235	0,076	38,46
37500	0,1155	0,076	34,20
34375	0,1045	0,069	33,97
31250	0,1045	0,065	37,80
28125	0,1075	0,063	41,40
25000	0,1035	0,063	39,13
21875	0,0955	0,055	42,41
18750	0,0875	0,05	42,86
15625	0,0785	0,043	45,22
12500	0,0655	0,041	37,40
9375	0,0575	0,036	37,39
6250	0,0395	0,021	46,84
3125	0,0242	0,019	21,49
0	0,0095	0,006	36,84

4.5 Ergebnisse & Auswertung

Aus den Messreihen wird ersichtlich, dass die Messwerte vom professionellen Messgerät (Lab Quest 2) im Mittel um ca. 33,6% von denen des Smartphones abweichen (Ursachen: siehe Fehlerbetrachtung). Aus diesem Grund werden die Messungen unabhängig voneinander ausgewertet.

Aus den Messwerten lässt sich die Remanenz einfach ablesen:

	Remanenz [mT]
Smartphone	0,0095
Lab Quest 2	0,006

Allerdings sind diese Messwerte nicht sehr aussagekräftig, da sich die Sensoren zur Messung der magnetischen Flussdichte in einem Abstand zum Eisenkern befinden. Bei unserer Messung beträgt dieser Abstand ca. 31cm, da wir das Smartphone mit dem Lab Quest 2 direkt vergleichen wollen und bei geringeren Entfernungen zum Eisenstab die magnetische Flussdichte anwächst, was zum Ausschalten des Handydisplays führt und somit die Messung als unmöglich gestaltet. Da die Messung nicht direkt im magnetisierten Kern stattfindet handelt es sich dabei um relative Messwerte. Dahingegen ist die Koerzitivfeldstärke eine deutlich geeignetere Größe, um das Verhalten beim Ummagnetisieren eines Stoffes zu erfassen, denn diese wird nicht durch den Abstand der Messsensorik beeinflusst. Diese lässt sich jedoch nicht direkt aus den Messwerten ablesen, kann jedoch über eine Regressionsfunktion bestimmt werden.

Bei geringen Strömen steigt die magnetische Flussdichte des Eisenstabes linear an, da sich die Stromstärke der Spule proportional zu dessen magnetischen Fluss verhält und somit stetig mehr Elementarmagnete ausgerichtet werden bis eine Sättigung eintritt. Demzufolge kann man eine lineare Regression für die geringen magnetischen Feldstärken machen und dadurch die Koerzitivfeldstärke bestimmen, indem man diese Gleichung mit null gleichsetzt und somit die dafür notwendige magnetische Feldstärke bestimmt. Bei einer Hystereseschleife wird die Koerzitivfeldstärke zweimal durchlaufen, sodass man dann einen relativ exakten Mittelwert bilden kann.

In unserem Beispiel werden die Regressionsfunktionen für die Stromstärken von -3 A bis +3 A in der felderzeugenden Spule ermittelt, da die Hysteresekurve in diesem Bereich einen recht linearen Verlauf aufweist.

Damit ergeben sich folgende Regressionen:

LabQuest:

$$(1) y = 0,00000544 * x + 0,00617143 \rightarrow H_C = 1134,45 \text{ A/m}$$

$$(2) y = 0,0000048 * x - 0,01265714 \rightarrow H_C = 2636,9 \text{ A/m}$$

Smartphone:

$$(1) y = 0,00000392 * x - 0,00142857 \rightarrow H_C = 364,43 \text{ A/m}$$

$$(2) y = 0,00000299 * x - 0,00342857 \rightarrow H_C = 1146,68 \text{ A/m}$$

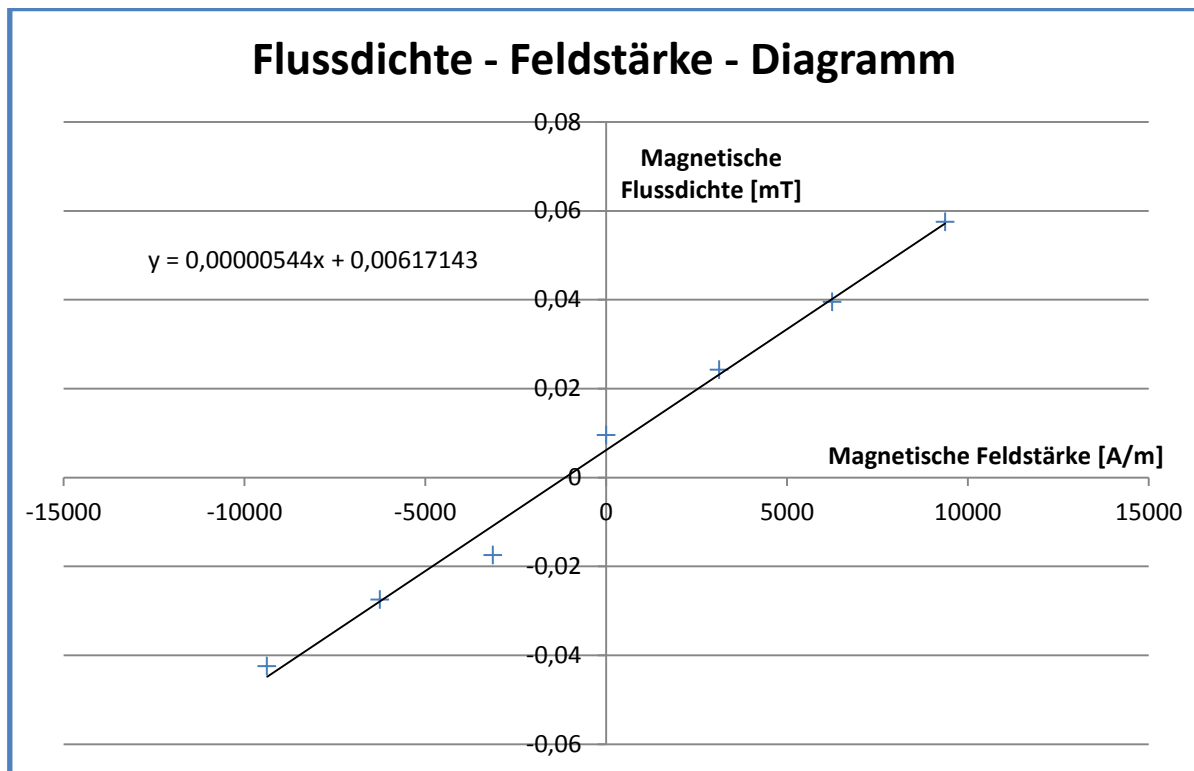


Diagramm 8: Beispiel für eine lokale lineare Regression der Hystereseschleife

Da die Koerzitivfeldstärke unabhängig von der Entfernung der Sensorik zum Eisenstab ist, kann nun eine Mittelwertsbildung erfolgen und ein Näherungswert ermittelt werden:

$$\overline{H_C} = 1320,62 \text{ A/m}$$

Die Sättigungsfeldstärken des Eisenstabes liegen bei ca. als 43750 A/m. Demzufolge ist die Koerzitivfeldstärke mit einem Wert von 1320,62 A/m relativ klein und es handelt sich bei dem Eisenstab um einen hartmagnetischen Stoff, da schon eine geringe magnetische Feldstärke genügt um den verbleibenden Restmagnetismus des Stabes (Remanenz) auf null zu reduzieren.

Weiterhin kann man direkt aus dem Verlauf der Hysteresekurve ableiten, ob es sich um einen Hartmagneten oder einen Weichmagneten handelt, da, wie zuvor beschrieben, die von der Hystereseschleife eingeschlossene Fläche dem Energieverlust beim Ummagnetisieren entspricht. Hartmagnetische Stoffe haben eine geringe Hysterese-Fläche, da zur Entmagnetisierung nur eine geringe Koerzitivfeldstärke nötig ist. Bei magnetisch weichen Materialien verhalten sich diese Zusammenhänge genau entgegengesetzt, d.h. um solch einen Stoff zu entmagnetisieren ist eine große hemmend wirkende magnetische Feldstärke nötig. Die „Methode“ ist allerdings nicht fachlich korrekt, da die magnetische Eigenschaft des Stoffes lediglich über die Fläche abgeschätzt und kein Wert zum Vergleich aufgenommen wird.

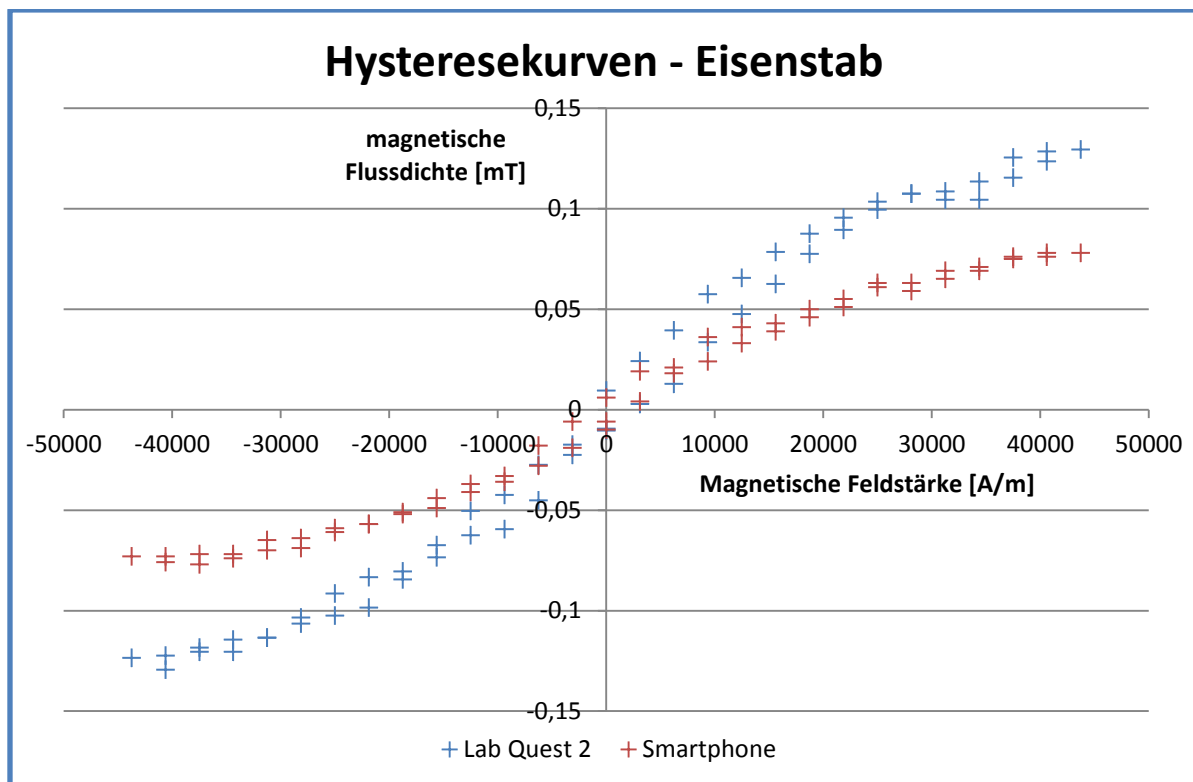


Diagramm 9: Hystereseschleife gemessen mit Smartphone und LabQuest 2

Aus den Kurvenverläufen wird deutlich erkennbar, dass die eingeschlossene Fläche sehr klein ist, sodass es sich offensichtlich um einen hartmagnetischen Stoff handelt. Die Remanenz sowie die Koerzitivfeldstärke sind gering und charakterisieren somit den Hartmagneten.

4.6 Fehlerbetrachtung

Aus den Hysteresekurven wird ersichtlich, dass das Lab Quest 2 sowie das Smartphone unterschiedliche Messwerte liefern. Weiterhin sind die Abweichungen zwischen beiden Messsystemen relativ gleichmäßig, sodass man vermuten kann, dass die Abstände der Sensoren vom Handy bzw. vom professionellen Messgerät zum Eisenstab nicht identisch sind. Dies lässt sich damit begründen, dass die Position des Magnetfeldsensors vom Handy nicht bekannt ist, sodass unterschiedliche Entfernungen zum magnetisierten Kern folgen. Ein weiteres großes Problem ist, dass Smartphones die magnetische Flussdichte generell in μT messen, weil der Magnetfeldsensor lediglich zur Messung des recht schwachen Erdmagnetfeldes dient. Demzufolge ist das Ablesen der Messwerte vom Smartphone fehlerhaft, da die Werte in diesem sehr kleinen Messbereich stark schwanken.

Damit ergeben sich folgende Fehlerquellen für das Experiment:

Subjektive Fehler	Objektive Fehler
ungenau einstellen des Spannungsversorgers	Schwankungen des Spannungsversorgers
ungenau ablesen der Messwerte von den Messgeräten	Kabel – und Kontaktwiderstände
ungenau Ausrichten der Messgeräte im Magnetfeld der Spule	Messfehler und Schwankungen der Messgeräte

4.7 Anwendung des Smartphones im Physikunterricht

Das Experiment wurde ausschließlich mit schulischen Mitteln durchgeführt. Wir konnten in unserem Experiment die erwarteten physikalischen Effekte mit dem Handy nachmessen und somit verifizieren, dass auch der Magnetfeldsensor in den schulischen Alltag einbezogen werden kann, da dieser recht zuverlässig arbeitet. Zudem kann mit dem Smartphone das Erdmagnetfeld problemlos kompensiert werden, wodurch es sich als ein äußerst praktikables Messgerät charakterisiert.

Physikalische Untersuchungen mit der Sensorik mobiler
Kommunikationsgeräte

5. Physik Box

Eine Android - App für die Datenerfassung der Sensoren

5.1 Zielstellung

Mit der Entwicklung dieser App wollten wir ein kostenfreies aber dennoch umfangreiches Programm für ein Smartphone entwickeln, welches eine gute Exportierfunktion besitzt und die erfassten Messdaten geeignet visualisiert. Außerdem wollten wir sicherstellen, dass alle benötigten Funktionen enthalten sind und vor allem an unsere Wünsche anpassbar.

5.2 Funktionen der App

Je nach Gerät, können folgende Sensoren erfasst werden:

- Beschleunigungssensor
- Gravitationssensor
- Linearer Beschleunigungssensor
- Lichtstärkesensor
- Temperatursensor
- Gyroskop
- Magnetischer Feldstärkesensor
- Drucksensor
- Näherungssensor

Dabei wird grundsätzlich in Messungen mit drei Rückgabewerten (X, Y, Z) und einem Rückgabewert unterschieden (Lux, °C). Mit Hilfe der App kann man sich die erfassten Informationen in einem skalierbaren Diagramm anzeigen lassen. Sollte man nur die Daten von beispielsweise einer einzelnen Achse messen, so kann man die Aufnahme der anderen Beiden deaktivieren. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Messung zu pausieren, falls dies erforderlich ist. Eine weitere nützliche Funktion ist die Nullen – Funktion, womit man die aktuellen Werte an die Umgebung anpassen kann. Diese Werte kann man als .csv – Datei exportieren, welches ein gängiges Format für Excel ist. Außerdem besteht die Möglichkeit während der laufenden Messung Werte zu markieren, sodass diese beim Auswerten der exportierten Datei leichter zu Finden sind. Ebenfalls gibt es die Option das Messintervall, die Messzeit und einen Trigger zum Auslösen der Messung zu konfigurieren. Dies wird mit einem schlichten, übersichtlichen Design präsentiert, sodass jeder schnellst möglichst mit der App arbeiten kann. Nach Abschluss einer Messung werden in einer Übersicht Mittelwert, Minimum, Maximum und Messzeit präsentiert.

5.3 Umsetzung

In diesem Teil möchte ich einen kleinen Einblick in die informatische Umsetzung darbieten. Für die Programmierung der App habe ich die Entwicklungsumgebung Eclipse im ADT Bundle genutzt. Eine App ist grob gesehen in Activities, Layouts, Values, Drawables und einem Manifest aufgebaut. In den Activities stehen die eigentlichen Methoden und Funktionen, welche Zugriffe auf die Layout, also das Aussehen einer Activity, Values wie zum Beispiel Strings (Zeichenketten) und Drawables (Bilder) besitzen. Im Manifest sind die Metadaten der App hinterlegt, also zum Beispiel welche Android – Version erforderlich ist und welche Berechtigungen genehmigt werden müssen. Die App wurde auf einem Nexus 5 entwickelt und des Weiteren auf einem LG Optimus Speed, Samsung Galaxy Note 3 und Vodafone Smart 3 getestet. Die Einarbeitung in die Programmiersprache Android ging aufgrund meiner Vorkenntnisse in der Programmiersprache Java recht einfach. Dazu genutzt wurden mehrere YouTube – Tutorials, sowie entsprechende Dokumentationen [IQ: 7]. Die App benötigt mindestens die SDK – Version 14 und wurde für die SDK – Version 19 entwickelt. Es werden die Berechtigungen zum Schreiben auf die SD – Karte (`write_external_storage`) und zum aktiv lassen des Displays (`wake_lock`) benötigt. Diese sind notwendig um die Messreihen auf der SD – Karte zu speichern und um das automatische Ausschalten des Displays während der Messung zu verbieten. Die App enthält elf Activities, eine für das Hauptmenü (MainActivity), eine „Superklasse“ (MySensorsActivity) welche alle grundlegenden Funktionen enthält und modifizierte Activities welche für die Sensoren sind und von der Superklasse erben. Durch diesen Aufbau ist die App speichersparender und zukünftig leicht zu erweitern. Bei der eingebundenen Graph – Bibliothek GraphView [IQ: 1] wurde die Achsenbeschriftung überschrieben, sodass physikalisch korrekte Achsenbeschriftungen eingesetzt werden konnten.

5.4 Was hebt die App von der Konkurrenz ab?

Als Referenz wurde die App „Sensor Kinetics Pro“, welche für 0.76€ im Google Play Store erhältlich ist, genutzt. Mit Hilfe dieser App ist es möglich die Messverläufe der verschiedenen Sensoren aufzuzeichnen und zu exportieren. Allerdings scheint diese Funktion in den letzten veröffentlichten Versionen einen Bug zu besitzen, wodurch die Messwerte nicht mehr in Excel lesbar geöffnet werden können. Dies macht unsere App besser, alles kann sehr leicht in Excel geöffnet werden und wird korrekt angezeigt. Sensor Kinetics Pro bietet auch keine „Nullen“ – Funktion, wodurch weiterverwendbare Messungen praktisch nicht möglich sind. Auch eine „Markierungs“ und Pausierungs – Funktion ist leider nicht gegeben. Wir können uns ebenfalls durch eine kurze Übersicht der aufgenommenen Daten nach der Messung abheben. Das entscheidendste Merkmal ist wohl, dass unsere App kostenfrei und werbefrei ist und somit in Schulen leichter und schneller einsetzbar ist.

5.5 Screenshots



Abbildung 13: Menü der App

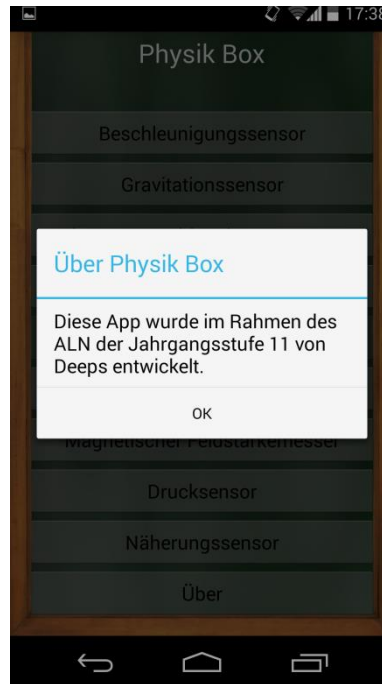


Abbildung 14: InfoBox

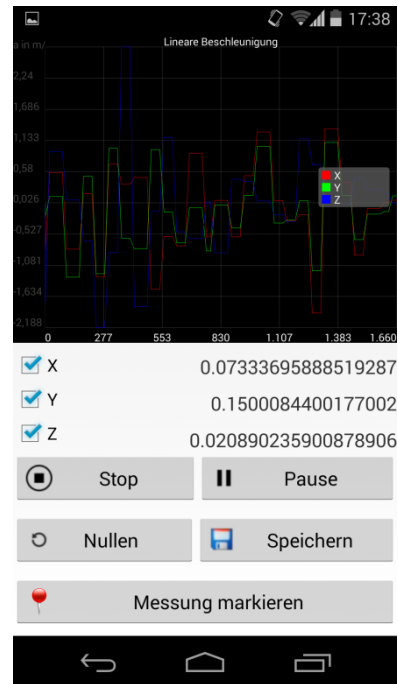


Abbildung 15: Messaufnahme

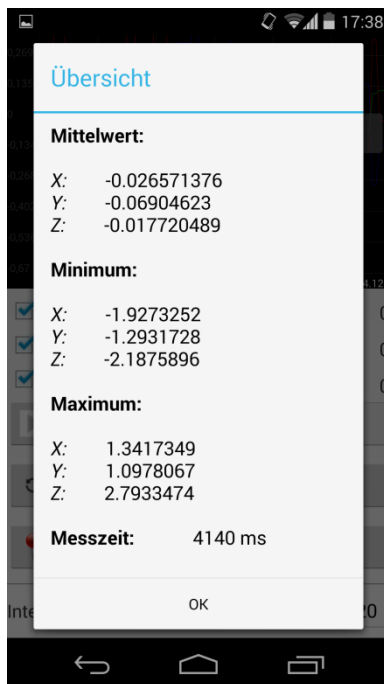
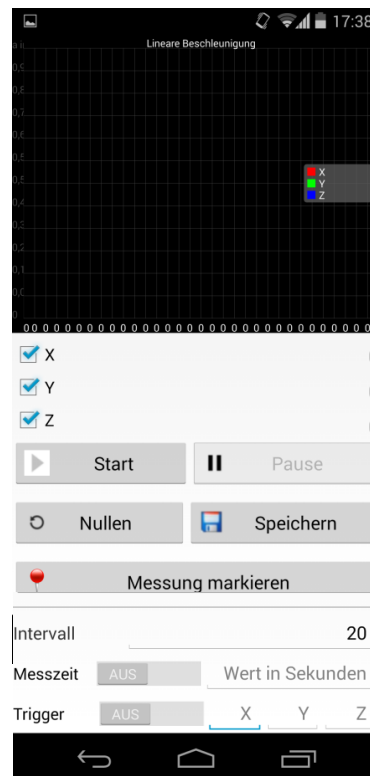
Abbildung 16:
Zusammenfassung der
MessungAbbildung 17: Komplette
Übersicht

Abbildung 18: App-Icon

Die App ist unter folgender URL herunterladbar:
<https://www.dropbox.com/s/jnh14ni9bsisauh/PhysicBox.apk>

Die Quelldateien sind einsehbar unter:
<https://www.dropbox.com/sh/h2xj0sn6hsnsktu/Fy-zUO2K6->

6. Nachwort

Nachdem wir uns intensiv mit der Thematik der Sensorik mobiler Kommunikationsgeräte beschäftigt haben, können wir abschließend sagen, dass diese den Anforderungen des schulischen Gebrauchs gerecht werden kann. In all unseren experimentellen Untersuchungen lieferte die Handysensorik reliable und mit dem professionellem Messsystem Lab Quest 2 vergleichbare Messwerte, mit denen die entsprechenden physikalischen Zusammenhänge und Phänomene nachvollzogen werden konnten. Dabei wurde auch unser Wissen über die entsprechenden "Messgeräte des Smartphones" gestärkt und zeitgleich die Kreativität, um mit der entsprechend vorhanden Sensorik zu experimentieren, gefördert.

Das Smartphone als Messsystem stellt wegen seiner Hardwaregrenzen den Schüler immer wieder Problemen gegenüber, die mit entsprechendem Arrangement sowie theoretischem Wissen gelöst werden können. Folglich schult solch praktisches Arbeiten die Anwendung von Wissen enorm und reizt die Lernenden an ihre Fähigkeitsgrenzen zu gehen.

Des Weiteren ermöglicht es das Smartphone, als mobile Messstation, experimentelle Untersuchungen lokal und temporär flexibel, d.h. außerhalb der Schule bzw. außerhalb der Unterrichtszeiten, durchzuführen. So können zukünftig interessierte Schüler auch zu Hause praktisch tätig werden und somit ein "physikalisches Gespür" herausbilden.

Infolgedessen löst das Smartphone einerseits aufgrund seiner Flexibilität die Probleme des begrenzten Zeitvolumens und andererseits das Hindernis der begrenzten Experimentiermöglichkeiten, da die Mehrheit der Schüler im Besitz eines solchen mobilen Kommunikationsgerätes sind.

Zusammenfassend sind wir letztendlich der Meinung, dass das Smartphone ein riesiges Potential für den Physikunterricht bildet und demzufolge nicht als ablenkendes Spielzeug, sondern als leistungsfähiges und unterrichtsunterstützendes Experimentiermittel angesehen werden sollte, wodurch ein schulischer Gebrauch absolut empfohlen werden kann.

7. Quellenverzeichnis

7.1 Internetquellen

Nr.	URL	Autor	Letzter Aufruf
1	http://android-graphview.org/	jjoe64	27.04.2014
2	http://de.wikipedia.org/wiki/Beschleunigungssensor	unbekannt	09.06.2014
3	http://de.wikipedia.org/wiki/Fluxgate-Magnetometer	Unbekannt	09.06.2014
4	http://de.wikipedia.org/wiki/Hall-Effekt	Unbekannt	09.06.2014
5	http://de.wikipedia.org/wiki/Hall-Sensor	Unbekannt	09.06.2014
6	http://de.wikipedia.org/wiki/Photodiode	Unbekannt	09.06.2014
7	http://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html#sensors-coords	Unbekannt	27.04.2014
8	http://elektronik-kurs.net/elektronik/fotodiode/	Unbekannt	09.06.2014
9	http://userpages.uni-koblenz.de/~physik/informatik/Sensoren/beschleunigung.pdf	Buchner, Universität Koblenz Landau	09.06.2014
10	http://www.abi-physik.de/buch/das-magnetfeld/hall-effekt/	Unbekannt	09.06.2014
11	http://www.fh-jena.de/~ploss/LEHRE/PDF/SENSOR_4.PDF	Unbekannt; FH Jena	09.06.2014
12	http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/mechanische-schwingungen#lightbox=/themenbereiche/mechanische-schwingungen/lb/mechanische-schwingungen-hoehere-ansaetze-theorie	Joachim Herz Stiftung	26.04.2014
13	http://www.mu-sig.de/Theorie/Akustik/Akustik02.htm	Everard Sigal	26.04.2014
14	http://www.phyta.net/h-feld4.htm	Unbekannt	09.06.2014
15	http://www.sein.de/koerper/heilung/2013/blauesslicht-der-einfluss-von-kunstlicht-und-bildschirmen-auf-die-gesundheit.html	Rotter D.	09.06.2014
16	http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Beschleunigungssensoren_PdN.pdf	Wilhelm, Prof. Dr. T.; Goethe - Universität F. a. M.	09.06.2014
17	http://www.tu-chemnitz.de/etit/messtech/imc/061208_IEEE_02.pdf	Hohe, Dr. Ing. H.P; TU Chemnitz	09.06.2014
18	http://www8.informatik.uni-wuerzburg.de/fileadmin/10030800/user_upload/quadcopter/Abschlussarbeiten/Magnetfehlererkennung_Bethge_BA.pdf	Bethge, M.; Julius - Maximilians - Universität Würzburg	09.06.2014
19	https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4741	Prior, M.; Georg - August - Universität Göttingen	09.06.2014
20	https://west.uni-koblenz.de/theses/ba-milker-bewegungserkennung-smartphones	Milker, Universität Koblenz Landau	09.06.2014

7.2 Literaturquellen

Nr.	Titel	Autor	Verlag
1	Grundlagen der Elektrotechnik	Bieneck, W.	Holland + Josenhans Verlag
2	Metzler	Grehn, J. & Krause, J.	Schroedel Verlag

7.3 Bildquellen

Abb. - Nr.	URL	Autor	Letzter Aufruf
1	http://studydroid.com/imageCards/02/5v/card-2293386-back.jpg	Unbekannt	09.06.2014
2	http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/teilchenfeld/halleffekt2.gif	Unbekannt	09.06.2014
3	Privataufnahme	Niels Bracher	09.06.2014
4	http://elektronik-kurs.net/wp-content/uploads/2012/08/Bildschirmfoto-2012-08-10-um-08.25.40.png	Unbekannt	09.06.2014
5	http://www.mu-sig.de/Theorie/Akustik/grafik/4-2.gif	Everard Sigal	26.04.2014
6	Privataufnahme	Niels Bracher	09.06.2014
7	Privataufnahme	Robert Schurmann	09.06.2014
8	http://de.academic.ru/pictures/dewiki/51/300px-zentripetalkraft.svg.png	Unbekannt	26.04.2014
9	Privataufnahme	Robert Schurmann	09.06.2014
10	http://www.phyta.net/images5/hysteresese12b.gif	Unbekannt	27.04.2014
11	http://www.phyta.net/h-feld4.htm	Unbekannt	09.06.2014
12	Privataufnahme	Robert Schurmann	09.06.2014
13	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014
14	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014
15	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014
16	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014
17	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014
18	Privataufnahme	Leonardo Hübscher	09.06.2014

8. Selbstständigkeitserklärungen

Hiermit erkläre ich, dass ich den Anderen Leistungsnachweis ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Cottbus, den 09.06.2014

Unterschrift Leonardo Hübscher

Hiermit erkläre ich, dass ich den Anderen Leistungsnachweis ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Cottbus, den 09.06.2014

Unterschrift Robert Schurmann

Hiermit erkläre ich, dass ich den Anderen Leistungsnachweis ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Cottbus, den 09.06.2014

Unterschrift Niels Bracher